

УДК 624.014.2

д.т.н., проф. Кулябко В.В., Воденникова О.С.,
Запорожская государственная инженерная академия

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассматривается метод повышения сроков эксплуатации строительных металлоконструкций за счет поверхностного упрочнения металла.

Ключевые слова: металлоконструкции, защитно-упрочняющие покрытия, моделирование, глубина коррозии, срок эксплуатации

Актуальность проблемы. На сегодня в Украине обусловлена потребность в повышении эксплуатационной надежности строительных металлических конструкций. Здания и сооружения из металла составляют наиболее значительную и ценную часть основных производственных фондов любой промышленно развитой страны, и увеличение надежности и долговечности возведенных строительных конструкций – это приоритетное направление современного строительства. Для выполнения своих функций металлические детали строительных конструкций должны обладать определенным набором свойств (таких, например, как прочность, твердость, электро- и теплопроводность), которые служат критериями выбора конструкционного материала при их изготовлении. В результате повреждений и износа, полученных в процессе эксплуатации, надежность металлических конструкций снижается. Однако надежность может быть восстановлена и даже повышена путем усиления конструкций и повышения их несущей способности. Необходимость изыскания резервов несущей способности и путей повышения надежности конструкций возникает также при увеличении в процессе эксплуатации нагрузок и воздействий против их расчетных значений. В настоящее время состояние конструкций вызывает большие опасения с точки зрения их надежной эксплуатации. Часть этих конструкций находится в аварийном или предаварийном состоянии [1]. По оценкам специалистов разных стран, потери в промышленно развитых странах от их разрушения и вывода из эксплуатации составляют от 2 до 4 % валового национального продукта. При этом потери металла, которые включают массу металлических конструкций, составляют от 10 до 20 % годового производства стали [2].

Известно, что в строительной отрасли производства применяются разнообразные средства защиты металлических конструкций от коррозионного разрушения. Наиболее часто в качестве внешнего покрытия используются

разные по структуре и составам лакокрасочные материалы. Широкое применение находит метод нанесения цинкового и алюминиевого покрытия путем погружения материалов и пропуска их через расплавленный металл. Металлизированные покрытия значительно повышают стоимость конструкции. Однако, учитывая их больший срок службы, эксплуатационные расходы оказываются меньше, чем при применении лакокрасочных покрытий.

Цель исследования – показать экспериментально и аналитически эффективность применения защитно-упрочняющего алюминидного покрытия для повышения сроков эксплуатации строительных металлоконструкций.

Материалы исследования. Предлагается высокотемпературный метод локальной защиты металлоконструкций алюминидным покрытием [3]. Это покрытие позволяет увеличить как прочностные свойства металла, так и коррозионную стойкость. Это относится к вопросу разработки метода повышения надежности и долговечности строительных металлоконструкций. Особенностью данного метода является формирование трехслойного покрытия на основе оксидной алюминиевой пленки алюминия и внедренного в структуру алюминидного диффузионного слоя.

Из анализа микроструктуры поверхностного слоя стали С245 (ВСтЗпсб) установлено, что толщина диффузионного алюминидного слоя (3) составляет 250 мкм, внешнего алюминиевого (2) – 50 мкм и оксидной пленки (1) – 10 мкм (рис.1).

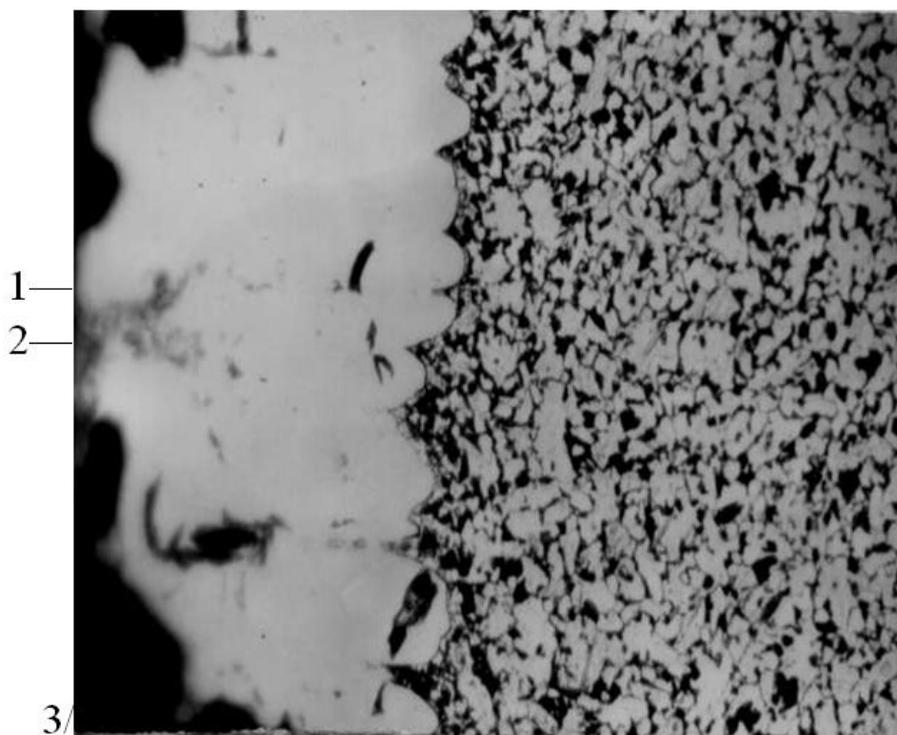


Рис. 1. Микроструктура поверхности стали с алюминидным покрытием

Для прогнозирования процессов коррозионного разрушения металла необходимо разработать новые подходы и алгоритмы решения данной проблемы. Для этого с помощью математических подходов разработана математическая модель процесса коррозионного разрушения, основанная на решении дифференциального уравнения процесса окисления:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{d}{dx} D(x) \frac{dc}{dx} + k \cdot f(c), \quad (1)$$

где c – концентрация окислителя;

$D(x)$ – коэффициент диффузии;

k – константа скорости окисления;

$f(c)$ – концентрационная функция;

x – координата, перпендикулярная к поверхности окисления;

t – время процесса.

Коэффициент диффузии в уравнении (1) можно представить в виде

$$D(x) = D_0 e^{\alpha x}, \quad (2)$$

где α – коэффициент затухания диффузии;

D_0 – начальный коэффициент диффузии.

Подставляя (2) в (1), получим для случая скорости отношения, заданной первым порядком:

$$\frac{dc}{dt} = D_0 e^{\alpha x} \left(\alpha \frac{dc}{dx} + \frac{d^2 c}{dx^2} \right) + k \cdot C. \quad (3)$$

Решения уравнения (3) будем искать в виде

$$C = Z \cdot T, \quad (4)$$

где Z, T – функции зависимости от x и t соответственно.

Подставляя (4) в уравнение (3), будем иметь:

$$Z \frac{dT}{dt} = D_0 e^{\alpha x} \left(\alpha T \frac{dz}{dx} + T \frac{d^2 z}{dx^2} \right) + k Z T. \quad (5)$$

Разделив (5) на функции Z и T , получим:

$$\frac{dT}{dt} \cdot \frac{1}{T} = \frac{1}{Z} D_0 e^{\alpha x} \left(\alpha \frac{dz}{dx} + \frac{d^2 z}{dx^2} \right) + k. \quad (6)$$

В уравнении (6) левая часть зависит лишь от t , а правая – только от x , тогда левая и правая части не имеют размерности и их можно обозначить через γ . В этом случае можно записать:

$$\frac{dT}{dt} - \gamma T = 0; \quad (7)$$

$$D_0 e^{\alpha x} \left(\alpha \frac{dz}{dx} + \frac{d^2 z}{dx^2} \right) = (\gamma - k) z. \quad (8)$$

Решение уравнения (7) будет:

$$T = C_1 e^{\alpha x} \quad (9)$$

где C_1 – константа интерпретации.

Решения уравнения (8) будем искать в автомодельном виде:

$$Z = e^{(\alpha+\beta)x}, \quad (10)$$

где β – параметр автомодельной.

Подставим (10) в (8) и, производя алгебраическое преобразование, получаем:

$$(\alpha + \beta)^2 + \alpha(\alpha + \beta) = \frac{\gamma - k}{D_0} e^{-\alpha x}. \quad (11)$$

Из (11) находим параметр автомодельной:

$$\beta = -\frac{3\alpha}{2} - \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - f_1}, \quad (12)$$

где $f_1 = \frac{\gamma - k}{D_0} e^{-\alpha x}$.

Решение (10) с учетом (12) будет иметь вид:

$$Z = e^{-\left(\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - f_1}\right)x}. \quad (13)$$

Общее решение замещения:

$$C = C_1 e^{\alpha x} e^{-\left(\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - f_1}\right)x}. \quad (14)$$

Для решения (14) задаются условия:

$$\begin{array}{l|l} dc & t=0 \\ dt & e=0 \\ C & x=0 \quad t=0 \end{array} \quad \begin{array}{l} = k \cdot C_0 \\ \\ = C_0, \end{array} \quad (15)$$

где C_0 – концентрация в зоне окисления.

Подставляя в (15) решение (14), получим:

$$\begin{aligned} \gamma &= k \\ C_1 &= C_0 \end{aligned} \quad (16)$$

Тогда решение (14) с учетом (16) будет иметь вид:

$$C = C_0 e^{kt} e^{-\left(\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - f_1}\right)x}. \quad (17)$$

Для определения константы скорости k в решении (17) используются данные, заданные в виде:

$$\frac{dc}{dt} \Big|_{x=x_k; t=t_2}, \quad (18)$$

где x_k – глубина окисления за время t_2 в условиях средней влажности за время $t_2 - C_0$.

Дифференцируя (17) по времени и раскладывая e^{kt} в ряд, получим:

$$k^2 + \frac{k}{t_{\Gamma}} = \frac{x^k}{t_{\Gamma} \cdot C_0} e^{\left(\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - f_1}\right) \cdot x^k} \quad (19)$$

Из решения (19) выходит:

$$k = -\frac{1}{2t_{\Gamma}} + \sqrt{\frac{1}{4t_{\Gamma}^2} + f_2}, \quad (20)$$

где $f_2 = \frac{x_k}{C_0 t_{\Gamma}} e^{\left(\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - f_1}\right) x_k}$.

С помощью алгоритмов расчета построим сравнительные зависимости глубины проникновения коррозии во времени. Установлено, что для Ст3 с покрытием глубина коррозии почти в 3,2 раза ниже относительно эталонного образца (рис. 2). Это позволяет спрогнозировать увеличение относительного срока эксплуатации металлоконструкций из стали Ст3 с 12,5 лет до 40 лет.

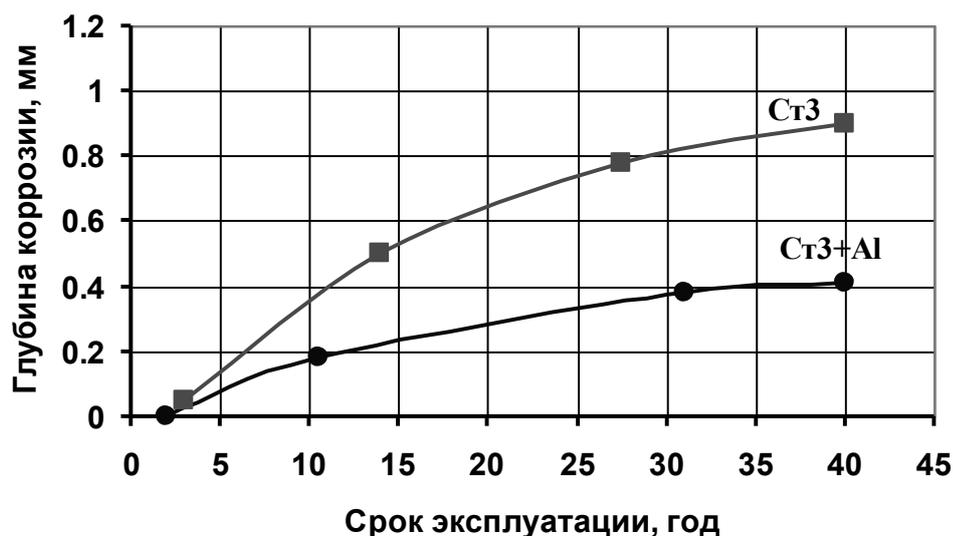


Рис. 2 – Влияние срока эксплуатации на глубину коррозии для Ст3

Таким образом, математические расчеты позволили установить, что алюминидные покрытия на материалах металлоконструкций могут повысить их коррозионную стойкость за первые 45 эксплуатации в 2,5...3,2 раза. Если срок эксплуатации увеличить до 90 лет, то разница будет еще значительнее (в 4,8 раза). То есть, срок эксплуатации здания и примененных металлоконструкций практически совпадают, что дает возможность дополнительно экономить на текущих и капитальных ремонтах значительные средства.

Данный метод можно применить для защиты от коррозии строительных металлоконструкций в виде листа, проволоки, деталей типа анкеров, хомутов, а

также конструкций пространственных покрытий зданий, которые монтируются из отдельных элементов с применением болтов – структур, оболочек.

Вывод: Математически обосновано, что предложенное алюминидное покрытие может надежно повысить сроки эксплуатации строительных металлоконструкций в условиях агрессивных сред и экстремальных нагрузок при длительной эксплуатации строительных объектов, при этом прочностные характеристики металлоконструкций повышаются.

Литература

1. Экилик В.В. Теория коррозии и защиты металлов / В.В. Экилик. – Ростов-на-Дону: РГУ, 2004. – 67 с.

2. Гузий С.Р. Защита металлоконструкций антикоррозионными геополимерными покрытиями от действия мокрой атмосферной коррозии / С.Р. Гузий // Современные строительные материалы. – 2011. – № 1 (87). – С. 187-189.

3. А.С. 1708941 СССР, МКИ С25Д/366. Способ электрохимического алюминирования / Терногорова Н. В., Хараман И. П., Е. Н.Симонов (СССР). – 4741097/02; заявл. 15.08.89; опубл. 30.01.92. – Бюл. №4. – 4 с.

Анотація

Розглядається метод підвищення термінів експлуатації будівельних металоконструкцій за рахунок поверхневого зміцнення металу.

Ключові слова: металоконструкції, захисно-зміцнююче покриття, моделювання, глибина корозії, термін експлуатації.

Annotation

A method is examined increase of terms of exploitation of build metal construction due to the superficial work-hardening of metal.

Keywords: metal construction, protective-consolidating coverage, design, depth of corrosion, term of exploitation.