

УДК 620.193.7

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.155.2015.91714>

РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО МІЦНІСТЬ І ЕЛЕКТРОКОРОЗІЮ СТАЛІ В СТАЛЕВИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Д-р техн. наук Д.А. Плугін

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОЧНОСТИ И ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ СТАЛИ В СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Д-р техн. наук Д.А. Плугин

DEVELOPMENT OF CONCEPTS OF STRENGTH AND ELECTROCORROSION OF STEEL IN STEEL AND REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

DSc D.A. Plugin

Встановлено, що в основі механічних властивостей сталі лежить її зерниста полідисперсна структура, існування на поверхні зерен подвійних електричних шарів і електроповерхневого потенціалу, латеральне відштовхування між протіонами подвійних електричних шарів. Під впливом зовнішнього електричного потенціалу на поверхні блоків і зерен сталі виникає додатковий електроповерхневий потенціал, що призводить до збільшення на поверхні феритового блоку латерального електроповерхневого відштовхування між потенціалвизначальними іонами, що спричинює електрокорозію сталі.

Ключові слова: сталь, структура, міцність, електрокоррозія, латеральне відштовхування, електроповерхневий потенціал.

Установлено, что в основе механических свойств стали лежит ее зернистая полидисперсная структура, существование на поверхности зерен двойных электрических слоев и электроповерхностного потенциала, латеральное отталкивание между противоположными двойных электрических слоев. Под влиянием внешнего электрического потенциала на поверхности блоков и зерен стали возникает дополнительный электроповерхностный потенциал, что приводит к увеличению на поверхности ферритового блока латерального электроповерхностного отталкивания между потенциалопределяющими ионами, что вызывает электрокоррозию стали.

Ключевые слова: сталь, структура, прочность, электрокоррозия, латеральное отталкивание, электроповерхностный потенциал.

It is found that the basis of the mechanical properties and corrosion of steel lying grained character of the structure, existence on the surface of grains of electrical double layers and electrical the surface potential, the interaction between the grains in the form of ion-electron attraction in individual contacts, lateral repulsion between counterions in electrical double layers. The correctness of the assumption that the driving force of the plastic deformation steel from the mechanical stresses there is the appearance in the layer between the ferrite grains electrical of the surface lateral repulsion that requires further research theoretically is proved. It is found that under the influence of an external electric potential at the surface of grains and blocks of steel arises an additional electric surface potential, which leads to an increase on the surface of the ferrite block the lateral electrically surface repulsion between the ions that define of potential, that the causes electro-corrosion of steel.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Keywords: *steel, structure, strength, electro-corrosion, lateral repulsion, electrical the surface potential.*

Вступ.

Значна частина відповідальних залізобетонних та металевих конструкцій і споруд на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць виходить з ладу значно раніше нормативних термінів служби, часто вимагає великих експлуатаційних витрат і невідкладного капітального ремонту. Однією з проблем експлуатації залізничних тунелів в Україні є корозія, у тому числі електрокорозія від струмів витоку, та механічний знос рейок і рейкових скріплень, які в частині тунелів відбуваються дуже інтенсивно і завдають значних збитків, вимагаючи їх заміни набагато раніше відпрацювання за пропущеним тоннажем.

Постановка проблеми.

Як показано нами [8, 9, 14, 15, 16], головною причиною недостатньої довговічності зазначених конструкцій є недосконалість існуючих теорій електрокорозії залізобетонних конструкцій, а також сталі, в тому числі арматурної і рейкової. Встановлення впливу різних факторів на інтенсивність корозії та знос рейок і рейкових скріплень в тунелях є невирішеною науковою проблемою, а розробка заходів з їх запобігання, обґрунтування раціональних термінів служби рейок – актуальним завданням.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій.

Уявлення про міцність у вигляді різних теорій міцності розроблялися в різних науках – опір матеріалів, механіка твердого тіла, механіка руйнування, теорія міцності металів та ін. Проте, жодна з перерахованих теорій міцності не є досконалою, як правило не відбиває дійсну структуру і властивості сталі, а також не враховує основних руйнуючих чинників, що діють на електрифікованому залізничному транспорті, – електрокорозія і електропластичний ефект.

Основним недоліком існуючих теорій електрокорозії є їх описовий характер, відсутність оцінки впливу напруги на поверхні сталі і рейок на ступінь і кінетику їх електрокорозії. Багато факторів, що впливають на інтенсивність електрокорозії є невивченим, відповідно заходи із захисту від корозії, передбачені діючими інструктивними документами, є недосконалыми.

Метою досліджень є розвиток нових кількісних уявлень про механічні властивості і електрокорозію сталі, зокрема рейок, з урахуванням її мікро- і субмікроструктури і електроповерхневих властивостей її структурних елементів, явищ і процесів.

Основна частина дослідження. Як відзначається в [2, 3, 12], для всіх металів, в тому числі сталі, проявляється електропластичний ефект, тобто зменшення їх характеристик міцності, підвищення повзучості, зміна кінетики пластичних деформацій. На наш погляд, вплив електричного поля при пропусканні струму обумовлено виникненням додаткових сил латерального електроповерхневого відштовхування між протіонами – ПРІ (потенціалвизначальними електронами – ПВЕ), які спричиняють відштовхування між поверхневими зернами сталі. Це дає підставу припустити, що рушійна сила пластичного деформування від механічного напруження і від електричного потенціалу та ж сама – виникнення в прошарках між зернами фериту (і цементиту) латерального електроповерхневого відштовхування.

При формуванні структури сталі з розплаву спочатку виникають блоки фериту із плоскими рівноважними подвійними електричними шарами (ПЕШ) (поки існує рідка фаза розплаву). Потім у міру збільшення кількості блоків і зникненні за рахунок цього розплаву виникають зерна, у яких блоки мають між собою ПЕШ із одним

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

загальним шаром протиіонів, рис. 1. Такі ж ПЕШ виникають між зернами й суміжними прошарками цементиту. При цьому контакт між блоками в зерні здійснюється через одиничні контакти ПВЕ – Fe^{2+} – ПВЕ з одним загальним шаром протиіонів Fe^{2+} , рис. 1.

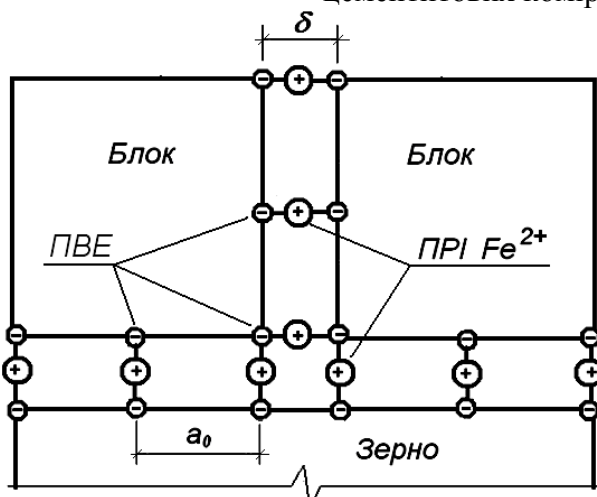


Рис. 1. Схема утворення одиничних електрогетерогенних контактів між блоками фериту в залізі

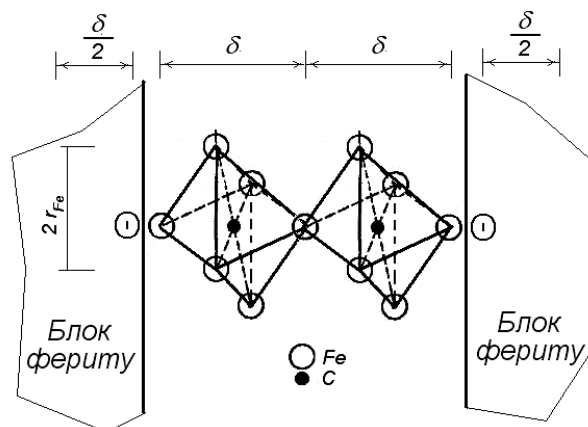


Рис. 2. Схема утворення одногодинного контакту між сумісними блоками фериту в сталі за допомогою комірок з цементиту

У нейтральній конденсатній плівці води ($pH = 7$) електроповерхневий потенціал зміщається на величину $0,059 pH$ [1], у результаті чого на поверхні зерна, що граничить із водою, встановлюється рівноважний електроповерхневий потенціал $\psi_{EP}^P = 1,77 - 0,059 pH = +1,36$ В. Подібний ПЕШ має поверхня рейок та коліс колісних пар.

При передачі навантаження від колеса на рейку ПЕШ на контактуючих поверхнях

Між зернами фериту виникають одиничні контакти через цементитові гнізда $2Fe_3C$, утворюючи своєрідний прошарок, рис. 2 [8]. Одиничні контакти в прошарках розсунуті на значні відстані, що на порядок і більш перевищують розмір протиіонів Fe^{2+} і цементитових комірок у них.

колеса й рейки стискаються, перекриваючись, при цьому молекули води з ПЕШ віджимаються, ПРІ подвійних шарів переходять в один загальний шар гідратованих ПРІ OH^- , аналогічний наведеному на рис. 1.

У результаті концентрація ПРІ OH^- стає більше концентрації ПВЕ Fe^{2+} , ніж в рівноважному ненавантаженому ПЕШ.

У такому стислом ПЕШ з'являються надлишкові ПРІ (понад електронейтрального

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

стану ПЕШ), між якими виникає сила латерального електроповерхневого відштовхування. Відповідно, виникає сила латерального електроповерхневого відштовхування між поверхневими зернами фериту.

Взаємодія між ПВІ Fe^{2+} і ПРІ OH^- в одиничному контакті визначається іон-іонним притяганням за формулою:

$$f_{ПР} = \frac{z_{Fe^{2+}} \cdot e \cdot 2 \cdot z_{OH^-} \cdot e}{4\pi\epsilon_1\epsilon_0\delta_{O-}^2} \quad (1)$$

Відстань між ПВІ, тобто між одиничними контактами, a_0 визначимо з виразу для щільності поверхневого заряду в щільному ПЕШ [7, 13]

$$q = \frac{\epsilon\epsilon_0\psi_{ЭП}^P}{d_1} \quad (2)$$

Поверхнева концентрація ПВІ

$$n = \frac{1,885 \cdot 10^{-12} \cdot |-1,36|}{2,33 \cdot 10^{-10} \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \left(\frac{В}{м \cdot Кл} = \frac{Кл}{м^2 \cdot Кл} = \frac{1}{м^2} \right) = \frac{12,036 \cdot 10^{-12}}{7,46 \cdot 10^{-29}} = 1,61 \cdot 10^{17} \left(\frac{1}{м^2} \right)$$

$$a_0 = \sqrt{\frac{1}{1,61 \cdot 10^{17}}} = \sqrt{0,62 \cdot 10^{-17}} = 2,51 \cdot 10^{-9} м = 2,51 нм$$

Відстань між гідратованими ПВІ Fe^{2+} і ПРІ OH^- , тобто з молекулою води між ними: $\delta = (2,33+2,8) \cdot 10^{-10} = 5,13 \cdot 10^{-10} м$.

визначиться шляхом розподілу q на заряд ПВІ:

$$n = \frac{\epsilon\epsilon_0\psi_{ЭП}}{d_1 \cdot ze}, \quad (3)$$

а відстань між ПВІ по вираженню:

$$a_0 = \sqrt{\frac{1}{n}}, \quad (4)$$

де: z – валентності ПВІ й ПРІ; ϵ і ϵ_0 – відносна й абсолютна діелектричні проникності між ПВІ й ПРІ ($\epsilon = 1$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$); d_1 – відстань між ПВІ й ПРІ; e – заряд електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Величина d_1 дорівнює сумі радіусів катіона Fe^{2+} і аніона OH^- :

$$d_1 = (0,8 + 1,53) \cdot 10^{-10} = 2,33 \cdot 10^{-10} м.$$

Підставляючи зазначені постійні й d_1 в (3), отримаємо:

Відповідно, сила притягання між гідратованими ПВІ Fe^{2+} і ПРІ OH^- , за (1) дорівнює:

$$f_{ПР} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38}}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,885 \cdot 10^{-12} \cdot 5,13^2 \cdot 10^{-20}} = \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{111,16 \cdot 10^{-12} \cdot 26,32 \cdot 10^{-20}} \cdot 1,41 =$$

$$= \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{2925 \cdot 10^{-32}} \left(\frac{Кл^2}{м^2} = \frac{Кл \cdot В}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} \right) = 0,0035 \cdot 10^{-6} = 0,35 \cdot 10^{-8} Н$$

Сила притягання між ПВЕ й ПРІ Fe^{2+} в одиничному контакті між блоками в зерні фериту:

$$f_{ПР} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38}}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,885 \cdot 10^{-12} \cdot 2,52^2 \cdot 10^{-20}} = \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{111,16 \cdot 10^{-12} \cdot 6,35 \cdot 10^{-20}} \cdot 1,41 =$$

$$= \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{705,87 \cdot 10^{-32}} \left(\frac{Кл^2}{м^2} = \frac{Кл \cdot В}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} \right) = 0,014510^{-6} = 1,45 \cdot 10^{-8} Н$$

Міцність контакту між блоками фериту в зернах сталі визначимо шляхом розподілу

цієї сили на площу, що припадає на один ПВІ, за виразом:

$$R_{\Phi} = \frac{f_{\text{ПР}}}{a_0^2}, \quad (5)$$

$$R_{\Phi} = \frac{1,45 \cdot 10^{-8}}{2,51^2 \cdot 10^{-18}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 2,3 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 2300 \text{ МПа}$$

відповідно до якого:

Подібним чином визначимо напругу в головці рейки від навантаження на вісь, рівної 25 т. Визначимо для цього відстань між гідратованими ПВЕ й ПРІ Fe^{2+} в одиничному контакті між блоками в зерні фериту (з урахуванням методу зображень [5, 6]): $d_1 = 2 \cdot 1,26 \cdot 10^{-10} = 2,52 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

$$\sigma_H = \frac{125000}{2 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 6,25 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 625 \text{ МПа}$$

що значно менше міцності контакту між блоками в зернах фериту (2300 МПа), тобто міцності зерен фериту. Звідси, навантаження від колеса не може зруйнувати зерна фериту в сталі.

Навантаження від колеса не може розірвати й зв'язок усередині сталі між феритовими зернами, що здійснюється через цементитові комірки або цементитові прошарки, якщо вуглецю більш 0,8 % [8].

Викладене свідчить про коректність припущення про те, що рушійна сила пластичного деформування від механічних напружень полягає у виникненні в прошарках між зернами фериту (і цементиту) латерального електроповерхневого відштовхування.

Розробка кількісних уявлень про механізм електрокорозії сталі виконано на основі її реальної структури і електроповерхневих властивостей, явищ і процесів.

З електростатики, потенціал і заряд взаємопов'язані виразами

$$U = Q/R = (В/м); \quad Q = U \cdot R \quad (6)$$

Отже, одиниця потенціалу (1 В) – це потенціал одиничного заряду (1 Кл) на відстані 1 м від нього. Одиничний потенціал можна також зв'язати з щільністю заряду на поверхні сфери одиничного радіусу.

Площа контакту колеса з рейкою, з урахуванням зношування головки рейки, становить приблизно 2 см^2 . Напруга в головці рейки від навантаження на вісь 25 т при цьому складе:

$$q = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{U \cdot R}{4\pi R^2} = \frac{U}{4\pi R} \quad (7)$$

З урахуванням структури сталі, заряд при цьому зосереджений на поверхні зерен фериту цієї сфери. Всього на поверхні сфери розташовується наступна кількість зерен фериту:

$$n_3 = \frac{4\pi R^2}{b^2} \quad (8)$$

Кожне зерно має площу поверхні $s_3 = 6b_3^2$.

Отже, площа, на якій розподілиться заряд Q , дорівнює:

$$S_{Q,3} = s_{Q,3} \cdot n_{Q,3} = 6b_3^2 \cdot \frac{4\pi R^2}{b_3^2} = 24\pi R^2 \quad (9)$$

Проте в зерні заряд розташовується на поверхні блоку, кількість цих блоків на поверхні зерна:

$$n_{\text{Бл}} = \frac{b^2}{b_{\text{Бл}}^2} \quad (10)$$

При площі поверхні одного блоку $6b_{\text{Бл}}^2$, загальна площа поверхні блоків, яка припадає на одне

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

зерно:

$$S_{Бл} = s_{Бл} \cdot n_{Бл} = 6b_{Бл}^2 \cdot \frac{b_3^2}{b_{Бл}^2} = 6b_3^2 \quad (11)$$

Тобто повна поверхня, на якій осідають заряди, збільшується ще в шість разів і дорівнює:

$$S_{Q,Бл} = 6S_Q = 6 \cdot 24\pi R^2 = 144 \cdot \pi R^2 \quad (12)$$

З урахуванням цього щільність поверхневого заряду на сфері радіусом $R = 1$ м складе:

$$q = \frac{Q}{144\pi R^2} = \frac{U \cdot R}{144\pi R^2} = \frac{U}{144\pi R} = \frac{U}{144\pi} \quad (13)$$

$$q_{ЕП}^{PP} = \frac{Q}{144\pi R^2} \quad (14)$$

$$\text{З електростатики} \quad q = \frac{Q}{4\pi R^2}, \text{ отже,}$$

$$q_{ЕП}^{PP} = \frac{q}{24}; \quad q_{ЕП}^{PP} \cdot 4\pi R = \frac{q}{24} 4\pi R \quad (15)$$

$$\psi_{ЕП}^{PP} = 1,36 + 3,33 \approx 4,7 \text{ В.}$$

З точки зору електрокорозії це дуже високі величини.

Подібним чином визначені додаткові та загальні електроповерхневі потенціали сталі залежно від зовнішнього потенціалу.

$$n_0^{PP} = \frac{q}{ze} = \frac{0,116}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,036 \cdot 10^{17} = 0,36 \cdot 10^{18} \left(\frac{1}{\text{м}^2} \right)$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{n_0^{PP}}} = \sqrt{\frac{1}{0,36 \cdot 10^{18}}} = \sqrt{2,75 \cdot 10^{-18}} = 1,66 \cdot 10^{-9} = 16,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Як бачимо, різко скорочується відстань між потенціалвизначальними іонами (без потенціалу $25,9 \cdot 10^{-10}$ м) за рахунок їх збільшення, та, відповідно, значне збільшення латерального електроповерхневого відштовхування між

З урахуванням (7)

$$q \cdot 4\pi R = U; \quad q_{ЕП}^{PP} \cdot 4\pi R = \frac{U}{24} \quad (16)$$

За аналогією з (16)

$$q_{ЕП}^{PP} \cdot 4\pi R = \psi_{ЕП}^{PP}, \quad \psi_{ЕП}^{PP} = \frac{U}{24} \quad (17)$$

Разом з тим електроповерхневий потенціал пов'язаний з щільністю поверхневого заряду за формулою плоского ПЕШ:

$$q_{ЕП}^{PP} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \psi_{ЕП}^{PP}}{d_1} \quad (18)$$

При зовнішньому потенціалі $U = 80$ В:

$$\psi_{ЕП}^{PP} = \frac{80}{24} = 3,3 \text{ В}$$

Загальний потенціал і щільність поверхневого заряду:

$$q = \frac{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,3}{2,52 \cdot 10^{-10}} \approx 0,116 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Результати у вигляді графіків наведені на рис. 3.

Визначимо відстань між потенціалвизначальними іонами:

ПВІ, що викликає сильну електрокорозію сталі.

Розрахуємо відповідні силові і кінетичні характеристики електрокорозії при зовнішньому потенціалі $U = 80$ В ($a_0 = 16,6 \cdot 10^{-10}$ м).

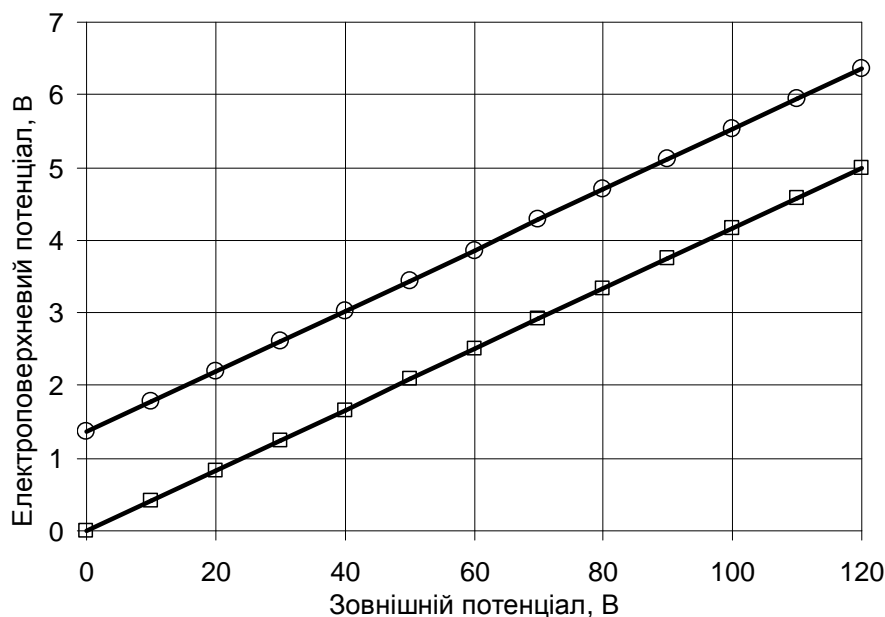


Рис. 3. Додаткові –□– і загальні –○– електроповерхневі потенціали сталі залежно від зовнішнього потенціалу

$$f_{LAT} = \frac{2^2 2,56 \cdot 10^{-38} \cdot 700 \cdot 10^{-10}}{1,116 \cdot 10^{-10} \cdot 16,6^3 \cdot 10^{-30}} = \frac{7,17 \cdot 10^3 \cdot 10^{-48}}{5,104 \cdot 10^3 \cdot 10^{-40}} \approx 1,41 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$$

$$V = \frac{2 \cdot z^2 e^2 \cdot (r_{Fe^{2+}} + d_{H_2O})}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a_0^3 \cdot \eta \cdot b_B} = \frac{1,41 \cdot 10^{-8}}{6,92 \cdot 10^{-9}} = 2,03 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\tau_{ПВІ} = \frac{a}{2 \cdot V} = \frac{16,6 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 2,03} \left(\frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} \right) = 4,09 \cdot 10^{-10} \text{ с}$$

Кількість атомів заліза в одному блоці фериту:

$$n_A = \frac{b^3}{d_{Fe}^3} = \left(\frac{7 \cdot 10^{-8}}{2,52 \cdot 10^{-10}} \right)^3 = 2,143 \cdot 10^9$$

Відповідно, час розчинення одного блоку фериту:

$$\tau_B = \tau_{ПВІ} \cdot n_A = 4,09 \cdot 10^{-10} \cdot 2,143 \cdot 10^9 = 0,88 \text{ с}$$

Кількість блоків фериту в одному зерні $n_B = 1,86 \cdot 10^6$ шт. Час розчинення одного зерна фериту:

$$\tau_3 = \tau_B \cdot n_B = 0,88 \cdot 1,86 \cdot 10^6 / 4 = 0,41 \cdot 10^6 \text{ с}$$

Кількість зерен по глибині корозії $h = 1$ мм:

$$n_h = \frac{10^{-3}}{13 \cdot 10^{-6}} = 77$$

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Час розчинення сталі на глибину один міліметр

$$\tau_{1,mm} = 0,41 \cdot 10^6 \cdot 77 = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с} = 1 \text{ рік}$$

Цей час відповідає рівномірної корозії.

Подібним чином визначені час рівномірної корозії сталі на глибину один міліметр (рис. 4) та глибина корозії за один рік (рис. 5) в залежності від величини

зовнішнього потенціалу, з урахуванням експериментально встановленого максимального потенціалу на рейці 117 В [11].

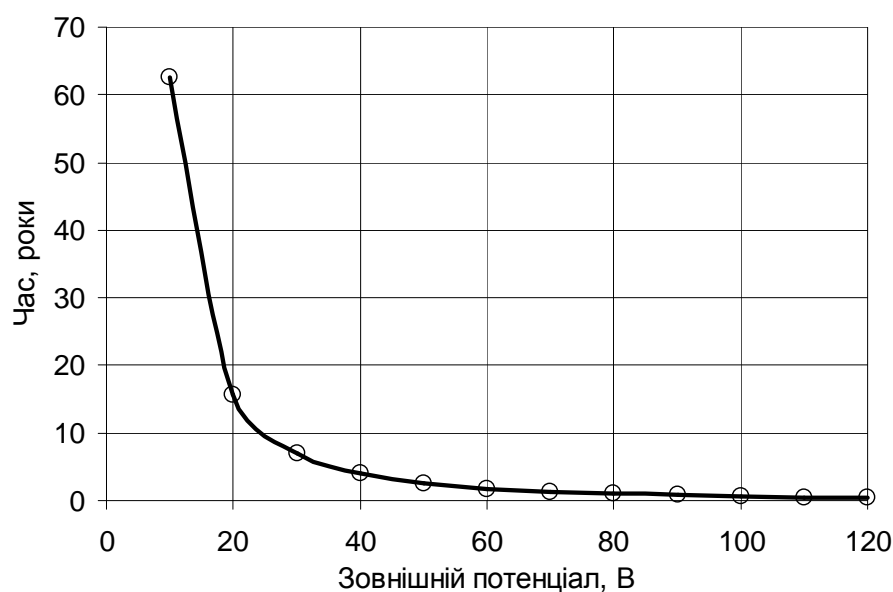


Рис. 4. Час рівномірної корозії сталі на глибину один міліметр в залежності від величини зовнішнього потенціалу

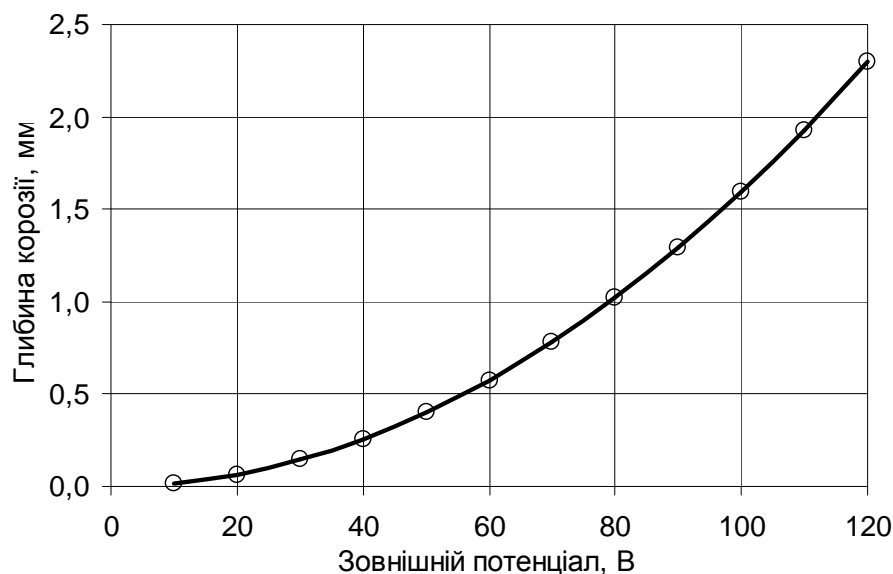


Рис. 5. Глибина рівномірної корозії сталі за один рік в залежності від величини зовнішнього потенціалу

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

За рахунок того, що стуми витоку локалізовані по довжині і площі конструкції, за рахунок нерівномірності вологості і електропровідності ґрунтів для підземних споруд або стікання струму з рейок над рейковою підкладкою для залізничної колії, в окремих місцях електрокорозія може відбуватися ще швидше, за рахунок підвищення щільності струму витоку.

Висновки з дослідження. Розвинуто нові кількісні уявлення про міцність і електрокорозію сталі, зокрема рейок, з урахуванням її структури і електроповерхневих властивостей її структурних елементів.

Встановлено, що в основі механічних властивостей сталі лежить її зернистий полідисперсний характер структури, існування на поверхні зерен подвійних електричних шарів і електроповерхневого потенціалу, взаємодія між зернами у вигляді іон-електронного притягання в одиничних контактах, латеральне відштовхування між протиіонами подвійних електричних шарів.

Теоретично доведено коректність припущення про те, що рушійна сила пластичного деформування від механічних напружень полягає у виникненні в прошарках між зернами фериту (і цементиту) латерального електроповерхневого відштовхування, що потребує подальших досліджень.

Розроблено кількісні уявлення про механізм корозії сталі, що дозволяє використовувати їх для оцінки ступеня та кінетики корозії сталевих конструкцій.

Встановлено, що під впливом зовнішнього електричного потенціалу на поверхні блоків і зерен сталі виникає додатковий електроповерхневий потенціал, що призводить до збільшення на поверхні феритового блоку (зерна) латерального електроповерхневого відштовхування між потенціалвизначальними іонами, що спричинює електрокорозію сталі.

Розраховано відповідні силові та кінетичні характеристики електрокорозії сталі при зовнішньому електричному потенціалі до 120 В.

Список використаних джерел

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии / В.С. Багоцкий. – М.: Химия, 1988. – 400 с.
2. Батаронов И.Л. Механизмы электропластичности / И.Л. Батаронов // Соросовский Образовательный Журнал. – 1999. – № 10. – С. 93 – 99.
3. Громов В.Е. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов / [В.Е. Громов, Л.Б. Зуев, Э.В. Козлов, В.Я. Целлермайер]. – М.: Недра, 1996. – 290 с.
4. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов / Н.А. Измайлов. – М.: Химия, 1976. – 488 с.
5. Каминский М. Атомные и ионные столкновения на поверхности металла / М. Каминский. – М.: Мир, 1967. – 216 с.
6. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Гостехтеориздат, 1957. – 246 с.
7. Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы: дисс. ... доктора техн. наук: 05.23.05 / Андрей Аркадиевич Плугин. – Х., 2005. – 442 с.
8. Плугин А.А. Теоретические предпосылки создания количественной теории электрокоррозии стали и защиты от нее / [А.А. Плугин, А.Н. Плугин, Ю.Н. Горбачова и др.] // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 129. – С. 169 – 173.
9. Плугин А.Н. Механизм формирования структуры, прочности и долговечности стали и железобетона на основе электроповерхностного потенциала простых веществ / [А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Д.А. Плугин и др.]. // Науковий вісник ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2010. – № 14. – С. 250 – 270.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

10. Плагин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: дисс. ... доктора хим. наук: 02.00.11 / Аркадий Николаевич Плагин. – К., 1989. – 282 с.
11. Плагін Д.А. Оцінка можливого впливу замкненого простору в тунелі на величину потенціалу на рейці / [Д.А. Плагін, А.М. Плагін, А.А. Плагін, О.С. Тіряєв] // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 127, С. 175 – 183.
12. Спицын В.И. Электро-пластическая деформация металлов / В.И. Спицын, О.А. Троицкий. – М.: Наука, 1985. – 160 с.
13. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1984, 337 с.
14. Plugin A.N. Research of influence of leakage currents and stray currents on railways on buildings and constructions / [A.N. Plugin, O. Plugin, O. Borzyak et al.]. // 17 Internationale Baustofftagung, 23 – 26 September 2009, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar, 2009. – Band 2. – P. 1151 – 1156.
15. Plugin D.A. Electro-corrosion of constructions of bridges on electrified by a direct current sections of railways / [D.A. Plugin, A.N. Plugin, Al.A. Plugin, O.S. Borzyak] // Nauka i Studia. Techniczne nauki budownictwo i architektura nowoczesne informacyjne technologie. – Przemyśl, 2013. – № 30 (98). – S. 69 – 77.
16. Plugin D.A. Electro-corrosion of constructions of railway tunnels / [D.A. Plugin, A.N. Plugin, Al.A. Plugin, O.S. Borzyak] // Materiály IX mezinárodní vědecko-praktická konference «Aplikované vědecké novinky – 2013». – Díl 13. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura, 27 Červenců – 05 Srpna 2013, Praha, Ceska republika: Publishing House «Education and Science» s.r.o. – Praha, 2013. – P. 52 – 58.

Плагін Дмитро Артурович, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru

Plugin Dmytro A., Doct. of Techn. Sciences, Associated Professor, Professor of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р