

УДК 691.32

*Д-р техн. наук А.А. Плугин,  
д-р хим. наук А.Н. Плугин,  
кандидаты техн. наук Ю.Н. Горбачева,  
А.В. Афанасьев, Д.А. Плугин*

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ  
КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ СТАЛИ  
И ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ**

**Постановка проблемы.** На железных дорогах Украины эксплуатируется 2613 металлических пролетных строений общим весом 243,33 тыс. т. На большинстве из 12210 железобетонных пролетных

строений установлены металлические конструкции в виде консолей тротуаров, перильных ограждений. Многие из этих сооружений эксплуатируются на участках железных дорог, электрифицированных

постоянным током. Металлические конструкции в таких условиях подвергаются интенсивной электрокоррозии, антикоррозионные покрытия на них повреждаются и нуждаются в восстановлении раньше установленных сроков. Исходя из изложенного, существует проблема несовершенства применяемых мер по защите от электрокоррозии и соответственно их теоретической основы.

**Анализ исследований и публикаций.** Защита стали от электрокоррозии базируется на таких фундаментальных теоретических работах, как [1–3]. Однако на сегодняшний день традиционная теория электрокоррозии стали является несовершенной и не позволяет обеспечивать высокую долговечность металлических конструкций, эксплуатируемых в специфических условиях электрифицированного железнодорожного транспорта. Новой теоретической основой защиты от электрокоррозии могут стать разработанные авторами представления о ее электроповерхностном потенциале, субмикроструктуре и прочности [4].

**Целью работы** является разработка теоретических предпосылок создания теории электрокоррозии стали на основе разработанных авторами новых представлений о ее электроповерхностном потенциале, субмикроструктуре и прочности.

**Основной материал исследований.** Новые представления об электроповерхностном потенциале, субмикроструктуре и прочности стали заключаются в следующем.

Микроструктуру стали при нормальной температуре формируют две фазы (два типа кристаллов): феррит и цементит. Их соотношение определяется содержанием в стали углерода. Феррит – практически чистое железо, цементит – устойчивое химическое соединение железа и углерода  $Fe_3C$ , которое содержит 6,69 % С.

В процессе понижения температуры кристаллизация стали сопровождается

возникновением на поверхности зерен плоского двойного электрического слоя по типу слоя Гельмгольца. В объеме зерен он состоит из потенциалопределяющих электронов (ПОЭ), а со стороны расплавленной части – из противоионов (ПРИ) железа  $Fe^{2+}$ .

Показано, что контакт между зернами феррита в стали осуществляется через цементитовую ячейку, состоящую из двух молекул карбида железа  $Fe_3C$ , а непосредственный контакт, обеспечивающий прочность стали, образован единичными ион-электронными контактами, расположенными на значительных расстояниях один от другого (рис. 1).

Сила притяжения ПРИ  $Fe^{2+}$  к блоку и прочность такого контакта определяются потенциал-электронным взаимодействием по выражениям [1]:

$$f_{П-Э} = \frac{\psi_{ЭП}^0 \cdot z \cdot e}{2r}; \quad (1)$$

$$R_{П-Э} = \frac{f_{ПЭ}}{a_0^2}. \quad (2)$$

Согласно расчетам по формулам (1), (2)  $f_{П-Э} = 3,54 \cdot 10^{-9}$  Н, а  $R_{П-Э} = 687$  МПа. Эта величина близка к границе прочности арматуры класса А600 (А-IV). Стали классом ниже имеют более низкую прочность. Это обусловлено влиянием содержания углерода на прочность стали. С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита и уменьшается количество феррита [5, 6]. При этом прочность изменяется экстремально: повышается к содержанию углерода около 0,8 %, а затем уменьшается (рис. 2).

В прочность стали вносит также вклад молекулярное взаимодействие (около 270 МПа), с учетом которого максимальная прочность становится равной 957 МПа, (рис. 3). Это соответствует максимальной прочности стали ( $\approx 1000$  МПа) при содержании углерода  $C \approx 0,8$  %, (рис. 2, 3).

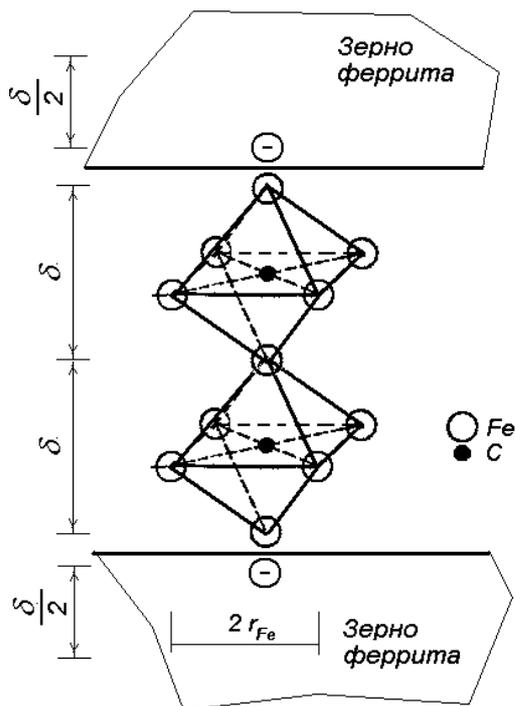


Рис. 1. Схема образования единичного контакта между смежными зернами феррита [1]

Уменьшение прочности при  $C < 0,9\%$ , обусловлено недостаточным количеством цементита для образования цементитовых контактов на всех ПОЭ поверхности зерен феррита. Уменьшение прочности при  $C > 0,9\%$  – образованием дополнительных цементитовых ячеек, которые раздвигают зерна феррита и уменьшают этим прочность стали. Выведены выражения для коэффициента прочности цемента  $K_{Ц}$  в зависимости от степени заполнения активных центров  $СЗП$  на поверхности зерна феррита для  $C < 0,9\%$  и коэффициента уменьшения количества единичных потенциал-ионных контактов  $K_{у}$  для  $C > 0,9\%$ :

$$K_{Ц} = 1,62 \frac{C}{(1 - C/100)} \cdot СЗП, \quad (3)$$

$$K_{у} = [1 - (C/0,75 - 1)]^{0,67}. \quad (4)$$

На рис. 3 приведена кривая зависимости расчетной (по данным уравнениям) прочности стали от содержания углерода. Эта кривая и кривая на рис. 2 имеют одинаковый характер и

достаточно близкие значения прочности. Это свидетельствует о корректности разработанных схем и описанного количественно механизма прочности стали с разным содержанием углерода.

Это позволяет связать механизм электрокоррозии стали с изменением электроповерхностного потенциала ферритовых зерен под влиянием потенциала на рельсах и на конструкции, что в свою очередь изменяет концентрацию единичных контактов между зернами.

#### Выводы и перспективы дальнейшего развития:

1. Таким образом, на основе представлений об электроповерхностном потенциале и субмикроструктуре стали разработаны предпосылки создания новой теории электрокоррозии стали.

2. На основе данных предпосылок предусмотрено разработать количественную теорию электрокоррозии стали, зависимости которой позволят более эффективно управлять сроками службы металлических конструкций электрифицированного железнодорожного транспорта.

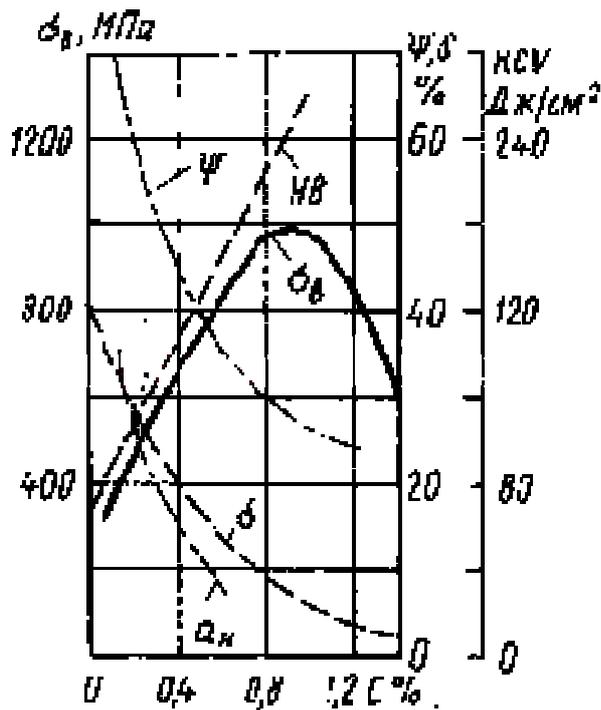


Рис. 2. Влияние содержания в стали углерода на прочность и поверхностное натяжение сталей [3]

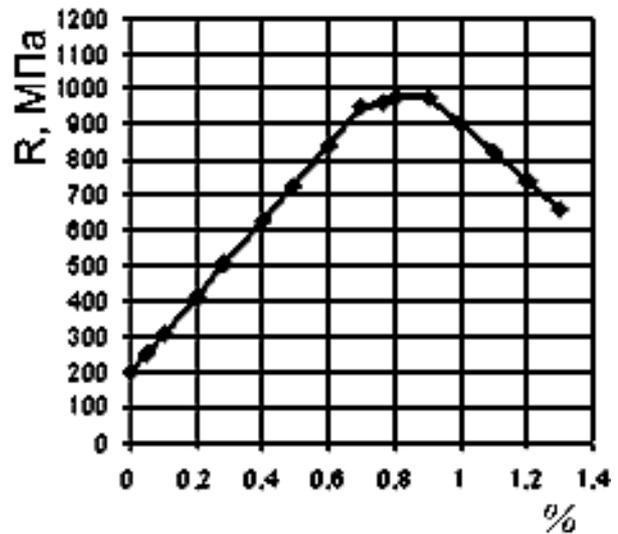


Рис. 3. Влияние содержания углерода на прочность сталей (по расчету)

### Список литературы

1. Томашов, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов [Текст] / Н.Д. Томашов. – М.: Изд. АН СССР, 1959.- 591 с.
2. Защита подземных металлических сооружений от коррозии [Текст] / И.В. Стирижевский, А.Д. Белоголовский, В.И. Дмитриев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 303 с.
3. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах [Текст] / А.В. Котельников, В.И. Иванова, Э.П. Селедцов, А.В. Наумов; под ред. А.В. Котельникова. – М.: Транспорт, 1974. – 152 с.
4. Электроповерхностный потенциал простых веществ – основа моделирования прочностных и коррозионных свойств стальных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плагин, А.А. Плагин, Ю.Н. Горбачева, А.В. Афанасьев // Науковий вісник ЛНАУ. – Луганськ, 2010. – Вип. 14. – С. 19-41.
5. Цементит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.modificator.ru/terms/fe3c.html](http://www.modificator.ru/terms/fe3c.html).
6. Влияние углерода на сталь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.mtomd.info/archives/1289](http://www.mtomd.info/archives/1289).

**Ключевые слова:** сталь, феррит, цементит, прочность, субмикроструктура, единичные контакты, электрокоррозия.

### *Анотації*

У статті викладені нові теоретичні передумови для удосконалення теорії електрокорозії сталевих конструкцій на електрифікованому залізничному транспорті. Ці передумови ґрунтуються на розроблених авторами уявленнях про електроповерхневий потенціал, субмікроструктуру і міцність сталі.

Розглянуто міжзернові контакти, що обумовлені формуванням на поверхні феритових зерен плоского подвійного електричного шару за типом шару Гельмгольца, а також одиничних електрон-іонних контактів. Показана залежність концентрації цих контактів від потенціалів на рейках і конструкціях.

В статье изложены новые теоретические предпосылки для усовершенствования теории электрокоррозии стальных конструкций на электрифицированном железнодорожном транспорте. Эти предпосылки основываются на разработанных авторами представлениях об электроповерхностном потенциале, субмикроструктуре и прочности стали.

Рассмотрены межзерновые контакты, обусловленные формированием на поверхности ферритовых зерен плоского двойного электрического слоя по типу слоя Гельмгольца, а также единичных электрон-ионных контактов. Показана зависимость концентрации этих контактов от потенциалов на рельсах и конструкциях.

In this article new theoretical showed the prerequisites of the improvement theory electrocorrosion steel structures on the electrified rail. These prerequisites are based on ideas developed by the authors of the electrosurface potential submicrostructure and strength of steel.

Inter granular contacts are considered, due to the formation of ferrite grains at the surface of a flat electrical double layer, Helmholtz-type layer, as well as individual electron-ion contacts. The dependence of the concentration of these contacts, the potentials on the rails and structures.