

СВЯЗЬ МЕЖДУ СТЕПЕНЬЮ КОРРОЗИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ АРМАТУРНОГО СТЕРЖНЯ И ШИРИНОЙ РАСКРЫТИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ

Ю.С. Дордюк

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

RELATIONSHIP BETWEEN THE DEGREE OF CORROSIVE DAMAGE OF REINFORCING BAR AND THE WIDTH OF LONGITUDINAL CRACK

Y.S. Dardziuk

Brest State Technical University, Brest, Belarus

Аннотация. Представлена комплексная методика, позволяющая связать ширину раскрытия коррозионной продольной трещины со степенью коррозионного повреждения арматурного стержня, выраженной глубиной распространения коррозионного повреждения.

Ключевые слова: зависимость, коррозия, арматура, продольная трещина, потеря массы.

Annotation. A complex technique is presented that allows one to relate the opening width of a corrosion longitudinal crack with the degree of corrosion damage to the reinforcing bar, expressed by the depth of distribution of the corrosion damage.

Keywords: dependence, corrosion, reinforcement, longitudinal crack, mass loss.

При выводе зависимостей, связывающих параметры трещинообразования со степенью коррозионного повреждения арматуры, была использована общепринятая расчетная модель толстостенного бетонного цилиндра, в который погружен корродирующий стальной стержень. Опираясь на выявленный механизм формирования продольных коррозионных трещин, была предложена комплексная методика, позволяющая связать ширину раскрытия коррозионной продольной трещины со степенью коррозионного повреждения арматурного стержня, выраженной глубиной распространения коррозионного повреждения (x_{cr}) по сечению или связанной с ней потерей массы (ML , %).

В рамках предложенного подхода оценивание коррозионного состояния арматурного стержня и связанного с ним трещинообразования выполняли в два этапа.

На первом этапе была установлена расчетная модель, позволяющая обоснованно определять критическую глубину распространения коррозионного повреждения в арматурном стержне (x_{cr}) и связанную с ней потерю массы (ML , %), при которых инициируется образование продольной коррозионной трещины. При разработке расчетного подхода были рассмотрены и детально проанализированы как аналитические (*M.P. Webster* и *L.A. Clark* [1]), так и эмпирические модели (*M.P. Webster* и *L.A. Clark* [1], *K. Lungren* [2], *J. Rodriguez* и др. [3], *C. Alonso* и др. [4]), описывающие критическую глубину распространения коррозионного повреждения (x_{cr}) как функцию от следующих базисных переменных: толщины защитного слоя бетона (c) и диаметра стержня (\emptyset) либо их отношения $\left(\frac{c}{\emptyset}\right)$; средней прочности бетона на сжатие (f_{cm}); средней прочности бетона на растяжение при раскалывании ($f_{ct,split}$).

Выбор расчетной зависимости для определения критической глубины распространения коррозионного повреждения (x_{cr}) осуществляли по результатам оценивания статистических параметров ошибки моделирования в соответствии с Приложением D ТКП EN 1990 [5]. Для выполнения верификации зависимостей на фоне экспериментов была сформирована собственная база данных, включающая результаты 60 опытов, выполненных с 1990 по 2012 гг. Верификации были подвергнуты пять расчетных зависимостей, включая *M.P. Webster* и *L.A. Clark* (аналитическая и эмпирическая модели) [1], *K. Lungren* [2], *J. Rodriguez* и др. [3], *C. Alonso* и др. [4]. По результатам оценивания (см. таблицу 1) лучшие и довольно близкие

статистические параметры, полученные при оценивании ошибки моделирования, показали модели *J. Rodriguez* и др. [3] и *C. Alonso* и др. [4] (см. таблицу 1).

Вместе с тем следует отметить, что модель, предложенная *J. Rodriguez* и др. [3], содержит в качестве базисной переменной среднюю прочность бетона на растяжение при раскалывании ($f_{ct,split}$). При выполнении параметрических исследований элементов с различными отношениями $\left(\frac{c}{\varnothing}\right)$ была установлена парадоксальная закономерность: при увеличении средней прочности бетона на растяжение степень коррозионного повреждения, при которой инициируется трещина, постоянно уменьшается и при определенных условиях (как правило, при $f_{cm} > 40$ МПа) эта величина становится отрицательной ($x_{cr} < 0$), что противоречит физической сущности явления коррозионного трещинообразования. Поэтому в качестве базовой модели для расчета глубины коррозионного повреждения была принята простая и удобная в применении эмпирическая модель *C. Alonso* и др. ($x_{cr} = 7,53 + 9,32 \cdot \frac{c}{\varnothing}$) [4].

Таблица 1 – Сравнение статистических параметров расчетных моделей для определения параметров коррозионного трещинообразования

| Модель | Статистические параметры ошибки моделирования | |
|--|---|--------------------|
| | b | V _δ , % |
| Webster и Clark (эмпирическая модель) [1] | 0,93 | 56,6 |
| Webster и Clark (аналитическая модель) [1] | 2,49 | 63,6 |
| Lungren 3-D модель [2] | 12,41 | 60,1 |
| Rodriguez и др. [3] | 1,24 | 37,8 |
| Alonso и др. [4] | 1,27 | 38,5 |

На *втором этапе* была предложена расчетная модель для определения ширины раскрытия продольных коррозионных трещин. По результатам статистического анализа ошибки моделирования в соответствии с Приложением D ТКП EN 1990 [5] расчетных зависимостей (*C. Andrade* и др. [6], *J. Rodriguez* и др. [3], *D. Coronelli* и др. [7]) на фоне собственной базы опытных данных, сформированной из 39 результатов испытаний, была предложена комбинированная расчетная модель, в которой ширину раскрытия трещины рассчитывают по зависимости *J. Rodriguez* и др. ($w_l = 0,05 + \beta \cdot (x - x_{cr})$) [3]), а критическую глубину распространения коррозионного повреждения, необходимую для образования продольной коррозионной трещины (x_{cr}), рассчитывают по зависимости *C. Alonso* и др. [4].

Список цитируемых источников

1. Webster, M. P. The assessment of corrosion-damaged concrete structures : Thesis ... Doctor of Philosophy / M. P. Webster. – Birmingham, 2000. – 318 p.
2. Lundgren, K. Bond between ribbed bars and concrete. Part 2 : The effect of corrosion / K. Lundgren // Magazine of Concrete Research. – 2015. – Vol. 57 (7). – P. 383–395.
3. Rodriguez, J. Corrosion of reinforcing bars and service life of reinforced concrete structures : Corrosion and bond deterioration / J. Rodriguez, L. M. Ortega, J. Casal // Concrete across borders. – Odense : Kongres Bureau Fyn, 1994. – P. 315–326.
4. Factors controlling cracking of concrete affected by reinforcement corrosion / C. Alonso [et al.] // Materials and Structures. – 1998. – Vol. 31. – P. 435–441.
5. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций = Еўракод. Асновы праектавання будаўнічых канструкцый : ТКП EN 1990-2011 (02250) (EN 1990:2002, IDT) (с изм.). – Введ. 01.07.12. – Минск : Стройтехнорм, 2012. – 86 с.
6. Andrade, C. Cover cracking as a function of bar corrosion : Part I - Experimental test / C. Andrade, C. Alonso, F. J. Molina // Materials and structures. – 1993. – № 26. – P. 453–464.
7. Coronelli, D. Structural assessment of corroded reinforced concrete beams: modeling guidelines / D. Coronelli, P. Gambarova // Journal of Structural Engineering. – 2004. – Vol. 130, № 8. – P. 1214–1224.