

Исследование параметров сцепления арматуры в бетоне для его оценки при коррозии

М.С. Минеев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Целостность многих железобетонных конструкций может быть нарушена из-за коррозии арматурной стали. Это явление довольно сильно проявляется в инфраструктуре, где широко используются антиобледенительные реагенты. Цель данного исследования - рассмотреть характеристики сцепления между арматурной и окружающим бетоном для оценки его влияния при коррозии. Прочность соединения изучалась с точки зрения реакции нагрузки на удлинение, поведения трещин. Показано, что трение между бетоном и арматурой вдоль грани ребра препятствует скольжению бетонной шпонки относительно ребра. Сила, возникающая из-за трения между ребром арматуры и бетоном, добавляется к компоненте сцепления, действующей перпендикулярно ребру. Если трение между бетоном и арматурой пропадает, то единственной составляющей прочности связи является сила, действующая перпендикулярно ребру. При разрушении на выдергивание трение между бетоном и арматурой менее важно, чем при разрушении на раскалывание.

Ключевые слова: арматура, бетон, сцепление, скольжение, выдергивание, коррозия, деформация бетона.

Введение

Надежность железобетона как конструкционного материала зависит от постоянной прочности связи между бетоном и арматурной сталью. По этой причине прочность связи привлекает большое внимание исследователей. Преждевременное разрушение бетонных конструкций может быть вызвано коррозией арматуры, щелочно-агрегатной реактивности, химических воздействий или морозного пучения. Коррозия разрушает в первую очередь арматуру, а остальные причины разрушают бетон.

Коррозия стальной арматуры ставит под угрозу эту связь на протяжении всего срока службы конструкции, и, к сожалению, эта область, несмотря на свою важность, не получила должного внимания и необходим поиск резервов несущей способности [1,2].

Несколько исследователей изучали поведение сцепления арматуры в бетоне, и коррозии стали, однако очень немногие исследовали фактическое

влияние коррозии на поведение связей. Исследования сцепления были проведены в [3,4]. Влияние коррозии на надежность рассмотрены в работах [5,6,7].

Исследования [8,9] о влиянии коррозии на поведение соединения показало, что прочность соединения быстро снижается с увеличением уровня коррозии, от снижения среднего напряжения связи на 9% при потере массы стали на 4% до снижения прочности связи на 92% при потере массы 17,5%. В [10] исследовали влияние коррозии на сцепление между сталью и бетоном путем сопоставления прочности связи и удельного сопротивления. В [11,12] также изучали влияние коррозии на прочность соединения и пришли к выводу, что предельная прочность сцепления первоначально немного увеличивается с увеличением степени коррозии, пока не достигает максимального значения при уменьшении площади поперечного сечения арматуры на 4 %.

После этого происходит резкое снижение предельной прочности связи до 6% потери площади поперечного сечения арматуры. С точки зрения влияния профиля ребра арматуры, резкое снижение прочности связи начинается, когда его деградация превышает 25% и продолжается до тех пор, пока деградация арматуры не достигнет уровня 45%.

Железобетон является композитным материалом, и связь между арматурной сталью и бетоном на границе сталь-бетон играет важную роль в передаче сил между ними. Последние исследования показывают, что на самых ранних стадиях коррозии эта связь немного улучшается, но на более поздних стадиях коррозии она значительно снижается [13]. Такое ухудшение сцепления на границе раздела сталь-бетон может иметь более серьезные последствия, чем снижение прочности конструкции из-за потери площади поперечного сечения арматуры.

Метод

Поскольку внешняя нагрузка редко прикладывается непосредственно к арматуре, сталь получает свою долю нагрузки только от окружающего бетона. "Напряжение сцепления" - это название, присвоенное для напряжения сдвига на границе раздела стержень-бетон, которое, передавая нагрузку между стержнем и окружающим бетоном, изменяет напряжения в арматуре. Эта связь позволяет двум материалам образовать композитную структуру.

Силы сцепления измеряются скоростью изменения силы в арматурных стержнях. Напряжение связи не будет существовать, если напряжения в арматуре не изменятся между двумя сечениями. Напряжение связи u определяется, как сдвигающее усилие на единицу площади поверхности стержня, которое определяется по формуле:

$$u = \frac{q}{\sum S} = \frac{\Delta f_s A_b}{\sum S} = \frac{d_b}{4} \Delta f_s, \quad (1)$$

где q - изменение усилия в стержне на единицу длины,

$\sum S$ - номинальная площадь поверхности стержня единичной длины,

d_b - номинальный диаметр стержня,

Δf_s - изменение напряжения в арматуре на единицу длины,

A_b - площадь стержня.

В [3] разделили сопротивление сцеплению на два элемента: сопротивление адгезии и сопротивление скольжению. Термин "сопротивление сцеплению" обозначал сопротивление сцеплению развиваемое до начала движения стержня относительно прилегающего бетона, и термин "сопротивление скольжению" применялся к сопротивлению, развиваемому в результате движения стержня.

В [14] объяснили то же явление в более современных терминах.

Отмечено, что основными характеристиками сопротивления сцеплению являются химическая адгезия, трение и расклинивающее действие. Низкие напряжения могут вызвать достаточное проскальзывание, чтобы разрушить химическую адгезию между бетоном и сталью. Как только происходит проскальзывание, дальнейшее сцепление может быть развито только за счет трения и расклинивающего действия мелких вытесненных частиц раствора и бетона (с мелкими заполнителями) между стержнем и окружающим бетоном.

Сопротивление трению зависит от состояния поверхности арматурной стали.

Разрушение сцепления гладких стержней происходит, когда адгезия и сопротивление трения как при стандартном испытании нагрузкой, стержень обычно вырывается из бетонной оболочки.

Взаимосвязь ребер увеличивает сопротивление сцеплению в деформированных стержнях.

В [15] исследовали прочность сцепления стальных стержней без покрытия и с эпоксидным покрытием в бетоне.

Прочность связи между двумя ребрами стержня (рис. 1) связана со следующими напряжениями:



Рис. 1. – Напряжения между ребрами деформированного стержня
- напряжения сдвига, v_a , развивающиеся за счет адгезии вдоль поверхности стержня,
- опорные напряжения, f_b , действующие на поверхность ребра,

- напряжения сдвига, v_c , действующие на цилиндрическую поверхность бетона между соседними ребрами.

Автором предлагается следующее предположение разрушения сцепления стержней в бетоне. Когда ребро стержня упирается в окружающий бетон, бетонная шпонка стремится скользить вверх по поверхности ребра, вызывая раскалывание бетонного слоя. Трение между бетоном и арматурой вдоль грани ребра препятствует скольжению бетонной шпонки относительно ребра. Сила, возникающая из-за трения между арматурой и бетоном на ребре, векторно добавляется к компоненте сцепления, действующей перпендикулярно ребру (рис. 2). Если трение между бетоном и арматурой пропадает, то единственной составляющей прочности связи является сила, действующая перпендикулярно ребру.



Рис. 2. – Компоненты прочности связи

Величина силы сцепления зависит от величины радиального давления, которое может выдержать бетонное покрытие до раскола. Это вертикальная составляющая результирующей силы сцепления. Горизонтальная составляющая результирующей силы вносит вклад в эффективную прочность сцепления. При разрушении на выдергивание трение между бетоном и арматурой менее важно, чем при разрушении на раскалывание. Разрушение при выдергивании происходит, когда арматура хорошо ограничена бетоном или поперечной арматурой, что предотвращает разрушение при раскалывании. В этом случае прочность связи должна контролироваться в первую очередь способностью бетона к прямому сдвигу. Опираие ребер на

бетон приводит к сдвигу шпонок между ребрами от окружающего бетона. Поскольку стержень хорошо зажат, трение между ребром и бетоном не требуется для предотвращения скольжения бетонной шпонки относительно ребра.

Напряжения в бетоне, окружающем деформированный стержень, приводят к образованию трещин и деформации в бетоне (рис. 3).

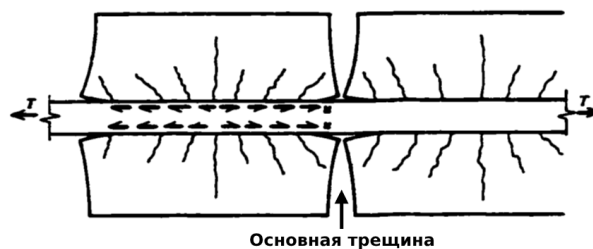


Рис. 3. – Деформированный бетон между поперечными трещинами в растянутых элементах

Напряжения сцепления σ , передающиеся на бетон, подвергают защитный слой бетона внецентренному растяжению. Деформации бетона, возникающие под действием этих напряжений, стремятся оторвать бетон от этой арматуры в районе основной трещины. Прочность раствора на растяжение у поверхности арматуры способствующая адгезионному сцеплению между арматурой и раствором, достигается, и окружающий бетон отделяется от арматуры. Кроме того, могут образоваться многочисленные внутренние вторичные трещины, которые могут не распространяться на внешнюю поверхность бетона.

В гладких стержнях можно ожидать полного исчезновения напряжений сцепления в местах разделения между арматурой и бетоном, в то время как в деформированных стержнях силы сцепления должны передаваться в этой области исключительно за счет опоры ребра на бетон (см. рис. 4). Часть напряжения в бетоне теряется при появлении первичной трещины вблизи поверхности стержня. В [16] обнаружили наклонные вторичные трещины, исходящие от каждого ребра, как показано на рис. 4.

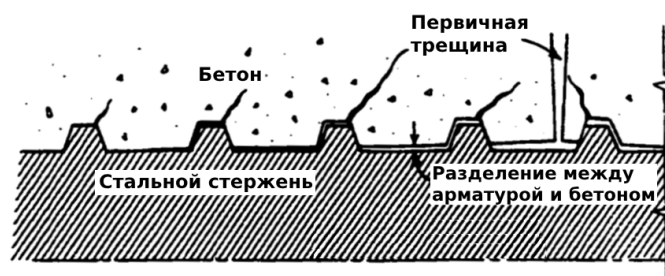


Рис. 4. – Разделение между сталью и бетоном вблизи магистральной трещины

Также подтверждено экспериментально разделение между стержнем и бетоном вблизи первичной трещины [14].

Заключение

Исследователи изучали характеристики сцепления стальной арматуры в бетоне, используя различные методы, такие, как испытание на выдергивание, стандартное испытание на растяжение и другие. Следует отметить, что трещины образуются в образце с увеличением растягивающих напряжений.

При испытании на выдергивание напряжение в бетоне на ненагруженном конце равно нулю, а на нагруженном конце бетон находится в состоянии сжатия, в то время как арматура находится в напряжении, что исключает поперечное растрескивание при растяжении. В случае испытаний на чистое растяжение, и бетон, и арматура находятся в напряженном состоянии, и поэтому образец для испытаний на чистое растяжение представляет собой упрощенную модель зоны растяжения железобетонной балки. По этой причине в настоящем исследовании испытания на растяжение используются для изучения поведения сцепления бетонных образцов.

Литература

1. Тамразян А. Г., Филимонова Е. А. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий //Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – №. 3. – С. 23-25.

2. Davis, J.R. Corrosion: Understanding the basics. ASTM International. The Materials Information Society, 2000.563p.
 3. Abrams, D.A. Tests of bond between concrete and steel. Bulletin 71.Engineering Experimental Station, University of Illinois. Urbana, 1913.246p.
 4. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Судаков Г.Н. О нормировании анкеровки стержневой арматуры. Бетон и железобетон. 2006. № 3. С. 2-7.
 5. Тамразян А. Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций //Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 1. – №. 1. – С. 5-18.
 6. Тамразян А. Г., Мацевич Т. А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой // Строительство и реконструкция. – 2022. – №. 1. – С. 89-98.
 7. Дудина И. В., Тамразян А. Г. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления // Жилищное строительство. – 2001. – №. 3. – С. 8-10.
 8. Amleh L., Mirza S. Corrosion influence on bond between steel and concrete // Structural Journal. – 1999. – V. 96. – №. 3. – Pp. 415-423.
 9. Al-Sulaimani G. J. et al. Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members // Structural Journal. – 1990. – V. 87. – №. 2. – Pp. 220-231.
 10. Fu X., Chung D. D. L. Effect of corrosion on the bond between concrete and steel rebar // Cement and Concrete Research. – 1997. – V. 27. – №. 12. – Pp. 1811-1815.
 11. Almusallam A. A. et al. Effect of reinforcement corrosion on bond strength // Construction and building materials. – 1996. – V. 10. – №. 2. – Pp. 123-129.
-

12. Мадатян С.А. Основы применения в железобетоне высокопрочной стальной арматуры. Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 17-20.
13. Amleh L., Mirza M. S., Ahwazi B. Bond deterioration of reinforcing steel in concrete due to corrosion: дис. – 2000.411 P.
14. Park R., Paulay T. Reinforced concrete structures. – John Wiley & Sons, 1991.800p.
15. Treece R. A., Jirsa J. O. Bond strength of epoxy-coated reinforcing bars : дис. – University of Texas at Austin, 1987.125 P.
16. Goto Y. Cracks formed in concrete around deformed tension bars //Journal Proceedings. – 1971. – V. 68. – №. 4. –Pp. 244-251.

References

1. Tamrazyan A. G., Filimonova Ye. A. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2011. №. 3. Pp. 23-25.
2. Davis, J.R. Corrosion: Understanding the basics. ASTM International. The Materials Information Society, 2000.563p.
3. Abrams, D.A. Bulletin 71.Engineering Experimental Station, University of Illinois. Urbana, 1913. 246p.
4. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Sudakov G.N. Beton i zhelezobeton. 2006. № 3. Pp. 2-7.
5. Tamrazyan A. G. Zhelezobetonnyye konstruktsii. 2023. V.1. №. 1. Pp. 5-18.
6. Tamrazyan A. G., Matseyevich T. A. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2022. №. 1. Pp. 89-98.
7. Dudina I. V., Tamrazyan A. G. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2001. №. 3. Pp. 8-10.
8. Amleh L., Mirza S. Structural Journal. 1999. V. 96. №. 3. Pp. 415-423.



9. Al-Sulaimani G. J. et al. Structural Journal. 1990. V. 87. №. 2. Pp. 220-231.
10. Fu X., Chung D. D. L. Cement and Concrete Research. 1997. V. 27. №. 12. Pp. 1811-1815.
11. Almusallam A. A. et al. Construction and building materials. 1996. V. 10. №. 2. Pp. 123-129.
12. Madatyan S.A. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2013. № 1. Pp. 17-20.
13. Amleh L., Mirza M. S., Ahwazi B. Bond deterioration of reinforcing steel in concrete due to corrosion : dis. 2000.411p.
14. Park R., Paulay T. Reinforced concrete structures. John Wiley & Sons, 1991.800p.
15. Treece R. A., Jirsa J. O. Bond strength of epoxy-coated reinforcing bars : dis. University of Texas at Austin, 1987. 125p.
16. Goto Y. Journal Proceedings. 1971. V. 68. №. 4. Pp. 244-251.

Дата поступления: 13.12.2023

Дата публикации: 29.01.2024