

*Мамонтов Ю.А. д-р техн. наук, профессор.
Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова*

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Образование конических, или так называемых главных, трещин является одной из причин развития других, более опасных разрушений. Это радиальные или продольные трещины. Появившись в торце, например, при отпуске натяжения арматуры, они развиваются вдоль нее, снижая несущую способность конструкций. Опасность их массового появления усугубляется расширением применения высокопрочной арматуры, переходом к тонкостенным сечениям и эксплуатацией конструкций в тяжелых климатических условиях.

Распор, или поперечные напряжения $P_{\text{сп}}$ являются составной частью наравне с касательными напряжениями $\tau_{\text{сп}}$ контактных усилий $q(y)$ в зоне анкеровки. Обеспечить соосность передачи усилий q с осью арматуры не представляется возможным. Это и является причиной расклинивающего действия арматуры на бетон. В связи с тем что распор находится в определенной зависимости с касательными напряжениями сцепления $\tau_{\text{сп}}$ ($P_{\text{сп}} = \tau_{\text{сп}} \cdot \text{ctg}\phi_k$) и, естественно, с контактными усилиями $q(y)$, законы их распределения по длине зоны анкеровки аналогичны. Следовательно, максимальным значениям $q(y)$ и $\tau_{\text{сп}}$ соответствуют максимальные значения $P_{\text{сп}}$.

Трудность в определении распора $P_{\text{сп}}$ заключается в

неопределенности и изменчивости с нагрузкой угла ϕ_k . При определенном давлении выступов арматуры на бетонные консоли они разрушаются, уплотняются, образуя клинья. Этот клин спрессованного бетона как бы присоединен к выступу арматуры. Он-то и передает давление на окружающий бетон без трения, нормально к своей поверхности. Угол между траекторией сжимающих напряжений и осью арматуры, т.е. угол при вершине клина, принято обозначать через ϕ_k . При увеличении нагрузки угол ϕ_k постепенно уменьшается и при достижении некоторой величины ϕ_{KT} в зоне максимальной концентрации напряжений появляется поперечная трещина. Ее направление совпадает с направлением главных сжимающих напряжений. Согласно работе [1] в стадии упругой работы сцепления $\text{ctg}\phi_k = 0,3$. Затем его значение увеличивается и достигает максимума. Резкое возрастание распора приводит к раскалыванию бетона, что сопровождается, естественно, падением поперечного давления. Величина контактных напряжений падает до своего постоянного значения, при этом $\text{ctg}\phi_k$ также уменьшается до стационарной величины, равной 0,5...0,7. При определенных смещениях арматуры относительно бетона g возникают максимальные по значению напряжения сцепления $\tau_{\text{сп}}$ и здесь же на-

блудается пик величины $\text{ctg}\phi_K$, косвенно характеризующий всплеск распорных напряжений $P_{\text{сц}}$.

Таким образом, повышение трещиностойкости концевых участков железобетонных элементов происходит через уменьшение максимальных значений местных растягивающих напряжений и распора, за счет равномерного распределения контактных напряжений и увеличения угла ϕ_K путем повышения податливости и прочности на растяжение контактного слоя.

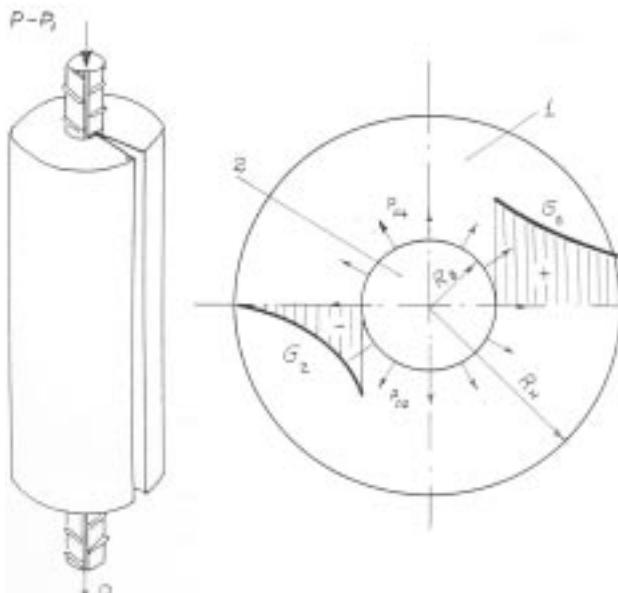


Рисунок 1. Расчетная схема для определения давления арматуры на бетон: 1 – бетонный образец, 2 – арматура

На рисунке 1 дана модель по расчету напряжения и деформаций, приводящих к раскалыванию бетона вдоль арматуры.

В основу расчета положена известная задача Ляме по определению напряжения в толстостенной трубе, нагруженной внутренним давлением.

Основные допущения:

– работа контактного слоя и окружающего бетона при взаимодействии с арматурой происходит в упругой стадии;

– справедлива гипотеза плоских сечений;

– известен закон распределения контактных напряжений и соотношения между касательными и нормальными напряжениями, т.е. между напряжениями сцепления $\tau_{\text{сц}}$ и распором $P_{\text{сц}}$.

Так как наличие касательных напряжений оказывается только на величине осевых перемещений, действие их в дальнейшем не учитывается.

Бетонный цилиндр нагружен внутренним давлением p , создаваемым распором арматуры. Тогда радиальное напряжение находится из выражения

$$\sigma_r = \frac{pR^2_B}{R^2_H - R^2_B} \left(1 - \frac{R^2_H}{r^2}\right), \quad (1)$$

а окружное напряжение из выражения

$$\sigma_t = \frac{pR^2_B}{R^2_H - R^2_B} \left(1 + \frac{R^2_H}{r^2}\right), \quad (2)$$

где R_b – приведенный радиус арматурного стержня; R_h – внешний радиус бетонного цилиндра; r – текущий радиус, изменяющийся от R_b до R_h .

На рисунке 1 показаны эпюры изменения радиального и окружного напряжений в бетоне. Максимальные растягивающие напряжения действуют у внутренней поверхности бетонного цилиндра, т.е. в контактном слое:

$$\sigma_{t(r=R_b)} = p \frac{R^2_H + R^2_B}{R^2_H - R^2_B}. \quad (3)$$

Радиальное напряжение при этом равно $-p$. Эквивалентные напряжения по теории небольших касательных напряжений находим из выражения

$$\sigma_{kb} = p \frac{R^2_H + R^2_B}{R^2_H - R^2_B} - (-p) = p \frac{2R^2_H}{R^2_H - R^2_B}. \quad (4)$$

В результате деформирования под действием распора внутренний и внешний диаметры бетонного цилиндра увеличиваются на величину f .

$$f = \frac{1}{E(R^2_H - R^2_B)} \left[(1-\mu)p \cdot R^2_B \cdot r + (1+\mu)p \frac{R^2_B \cdot R^2_H}{r} \right], \quad (5)$$

где E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона контактного слоя или бетона, соответственно.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что зарождаются продольные (радиальные) трещины на границе бетона с арматурой, т.е. в контактном слое, где действуют максимальные растягивающие напряжения. Поэтому увеличение прочности контактного слоя на растяжение и его предельной растяжимости способно увеличить трещиностойкость заделки.

Влияние толщины защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях на вероятность образования продольных трещин можно проследить на изменениях σ_r и σ_t по мере уменьшения толщины цилиндра. Пусть

$$R_h = R_b + a, \quad (6)$$

где a – толщина защитного слоя (толщина цилиндра).

Тогда

$$\sigma_{t(r=R_b)} = D \frac{(R_b + a)^2 + R^2_B}{a(2R_b + a)}; \quad \sigma_{t(r=R_h)} = D \frac{2R^2_B}{a(2R_b + a)}. \quad (7)$$

Приведенные выражения дают основание предполагать, что с увеличением толщины защитного слоя значения наибольших напряжений уменьшаются. В случае бесконечности наружного радиуса выражение (7) примет вид

$$\sigma_r(t) = \mp D \frac{R^2_B}{r^2}. \quad (8)$$

Из этого следуют очень важные выводы:

– во-первых, напряжения убывают пропорционально квадрату расстояния от центра стержня, т.е. довольно быстро. Так, если принять $r = 4R_b$, то в области на этом расстоянии напряжения составят лишь 1/16 от максимальных;

– во-вторых, с увеличением диаметра арматуры при одном и том же поперечном давлении ее на бетон как радиальные, так и окружные растягивающие напряжения возрастают. Иными словами, с увеличением диаметра арматуры трещиностойкость снижается.

Таким образом, уменьшить уровень распора в зоне активного взаимодействия арматуры с бетоном и тем

самым снизить риск образования продольных трещин можно за счет:

- уменьшения концентрации контактных напряжений путем повышением податливости контактного слоя;
- увеличения толщины защитного слоя бетона;
- увеличения расстояния между арматурными стержнями;

– уменьшения диаметра арматуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холмянский, М.М. Контакт арматуры с бетоном / М.М. Холмянский. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.