

ЛАТВИЙСКОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ПРАВЛЕНИЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА И БЫТОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

МИНИСТЕРСТВО КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
ЛАТВИЙСКОЙ ССР

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

II межреспубликанской научно-технической конференции
городских дорожников Прибалтийских республик,
Белорусской и Украинской ССР

Юрмала 1970

УВЕЛИЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ БЕТОНА РАСТЯЖЕНИЮ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В ЕГО СОСТАВ КОРОТКИХ ОТРЕЗКОВ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ

ДЗ. С. АБОЛИНЬШ,

кандидат технических наук, доцент кафедры
строительных конструкций РПИ

В. К. КРАВИНСКИС,

аспирант кафедры строительных конструкций РПИ

1. Давно известно, что использование неармированного бетона в строительных конструкциях ограничивается низкой прочностью его при растяжении. Уже с начала нашего века существует мнение, что фактическое сопротивление бетона растяжению (R_p^B) значительно выше, чем это удается установить на опыте, ибо мелкие внутренние дефекты и повреждения приводят к преждевременному растрескиванию бетона. Если распространение и развитие первоначальных разрывов задержать или ограничить путем введения в состав бетона близко расположенных арматурных проволок, то предел прочности бетона на растяжение должен повышаться.

Экспериментально было установлено [1, 2], что если расстояние между арматурными проволоками становится меньше определенной критической величины, которая составляет примерно 10—12 мм, то с уменьшением этого расстояния R_p^B предельная растяжимость бетона (мах ϵ_p) повышается в 2—3 раза. Однако густое параллельное размещение проволок вызывает трудности при изготовлении и применении такого композитного материала. С другой стороны, известно, что во многих элементах строительных конструкций, в том числе и в конструктивных элементах дорожного строительства, при монтажных и эксплуатационных нагрузках направление главных растягивающих напряжений ($\sigma_{r.p}$) возможно в самых различных направлениях.

С этими трудностями можно справиться и получить бетон с повышенным сопротивлением растяжению во всех направлениях, если вводить непосредственно в состав бетона в про-

цессе его приготовления короткие отрезки тонкой проволоки, равномерно распределенные по всему объему с одинаковой вероятностью ориентации во всех направлениях. Требуется только соблюдение условия, что количество проволочек должно быть таким, чтобы среднее расстояние между центроидами смежных отрезков не превышало критической величины. Разумеется, следует считаться с тем, что определенное количество проволок будет ориентировано неэффективно относительно моментальных главных растягивающих напряжений.

Можно отметить, что способ хаотически ориентированного армирования применялся 60 лет тому назад, но для увеличения прочности на сжатие [3].

Практическое применение такого композитного материала, называемого нами в дальнейшем «иглобетоном», может быть выгодным в таких конструкциях, где направление $\sigma_{г.р.}$ во время эксплуатации меняется, в конструкциях, которые нужно оберегать от растрескивания при кратковременных динамических нагрузках, кратковременной высокой температуры и т. п., а также в конструкциях, проверяемых на выносливость. К таким видам бетонных и железобетонных конструкций относятся покрытия автомобильных дорог и аэродромов, площадки для пуска ракет, фундаменты больших машин, тонкостенные пространственные конструкции и т. д. Существует и целый ряд менее крупных сборных элементов, применяемых в дорожном строительстве, например, сборные плиты тротуаров, бортовые элементы, оградительные столбики и т. д., где применение иглобетона может быть весьма полезным.

2. На основании таких соображений в конце 1965 года мы приступили к поисковым экспериментам с иглобетоном, в которых изучали, от каких факторов качественно зависит прочность его при растяжении. Было установлено, что такими факторами являются: объемный коэффициент армирования (μ), диаметр проволоки (d), длина отрезков (l), возраст бетона (t), водоцементное отношение (v/c), отношение цемент : песок (c/n), способ приготовления и др.

Для количественного изучения влияния отдельных факторов в дальнейшем последовали серии опытов, результаты которых опубликованы в статьях [4, 5].

В работе [4] изучалось влияние длины отрезков ($l = 10; 20$ и 30 мм), коэффициента армирования ($\mu = 0 + 1,5\%$) и среднего расстояния между смежными отрезками (S) тонкой ($d = 0,4$ мм) проволоки. Размеры образцов были небольшие ($40 \times 40 \times 160$ мм), но их количество значительное, чтобы уловить возможный разброс результатов при помощи статистической обработки. Всего было испытано 258 образцов

на изгиб и установлено, что значительный эффект от дисперсного армирования иглобетона явно имеет место при $\mu > 1\%$ и $l \geq 20$ мм, или $S \leq 5,5 \div 6,0$ мм.

Другая работа [5] была посвящена изучению влияния возраста бетона на сопротивление иглобетона изгибу. Для этой серии образцов, размеры которых были такие же, как указано выше, армирование состояло из отрезков ($l=20$ мм) тонкой проволоки ($d=0,4$ мм) при $\mu=0 \div 3\%$. В этих целях было испытано 102 образца в возрасте 9, 28 и 320 суток. Установлено, что с увеличением возраста прочность иглобетона на растяжение при изгибе значительно повышается по сравнению с неармированным бетоном в таком же возрасте.

В упомянутых работах приведены также результаты испытания иглобетонных призм на центральное сжатие.

3. Теоретические соображения. Как известно, в ранее опубликованных работах [1, 2, 3] даны только описания экспериментов.

Так как наши первые эксперименты показали, что наиболее влиятельными факторами (при одинаковом составе бетона и одинаковой технологии изготовления), от которых зависит прочность растяжению при изгибе иглобетона, являются коэффициент армирования (μ), диаметр проволоки (d), длина отрезков (l) и качество сцепления ($\tau_{сц}$) проволок с бетоном, то в зависимости от них и будем искать теоретически величину.

Для получения теоретических зависимостей принимаем следующие исходные предпосылки:

- 1) отрезки проволоки распределены равномерно по всему объему бетона;
- 2) имеют равные длину и диаметр и ориентированы с одинаковой вероятностью по всем направлениям;
- 3) полностью заделаны в бетоне и имеют сцепление с бетоном по всей длине, среднее значение которого при выдергивании $\tau_{сц}$;
- 4) при разрушении отрезки проволоки не разрываются, а выдергиваются из бетона.

Рассмотрим сечение растянутой зоны перпендикулярно к продольной оси и подсчитаем, сколько проволок действует в таком сечении. Если это удастся, то можно будет установить зависимость типа

$$R_{p. и. а} = R_{p. и.} + \frac{\Pi_0 N_0}{F}, \quad (1)$$

где $R_{p. и. а}$ — прочность на растяжение при изгибе армированных образцов;

$R_{p. и.}$ — то же, неармированных образцов;

N_0 — сила, необходимая для выдергивания одной проволоки;

P_0 — количество проволок в сечении;

F — площадь поперечного сечения.

Для определения числа проволок в сечении рассмотрим те из них, которые ориентированы параллельно продольной оси. Не передвигая их по направлению оси элемента, мысленно сгруппируем их ступенчатообразно (рис. 1). Как видно из рисунка, на сечение не могут действовать проволоки, которые находятся за участком 2. Для проволок любой другой ориентации участок влияния находится в пределах от $2l$ до 0.

Для подсчета средней величины длины участка, который воздействует на данное сечение, воспользуемся интегрированием по всем направлениям (рис. 2).

$$C = \frac{\pi}{2} \frac{\pi}{2} 2l \cos \Xi \cos \varphi d\Xi d\varphi = 0,812l. \quad (2)$$

Количество проволок в объеме участка длиной $l = 0,812$ будет

$$n_0 = \frac{\Sigma n}{L_1} \cdot 0,812, \quad (3)$$

где Σn — суммарное количество проволок во всем растянутом элементе, длиной L_1 .

Общее количество проволок равно:

$$\Sigma'_n = \frac{V_{\text{ст}}^{\Sigma}}{V'_{\text{ст}}} = \frac{4\mu F \cdot L_1}{\pi d^2 \cdot l} \quad (4)$$

где $V_{\text{ст}}^{\Sigma}$ — общий объем стали;

$V'_{\text{ст}}$ — объем одной проволоки.

Усилие, необходимое для выдергивания одной проволоки

$$N_0 = \frac{\pi d \cdot l \tau_{\text{ст}}}{4}$$

Подставляя найденные значения в уравнение (1), находим

$$R_{\text{р. и. а}} = R_{\text{р. и}} + \frac{0,812\mu l \tau_{\text{ст}}}{d}$$

4. Для экспериментальной проверки полученной зависимости была составлена программа экспериментов, которая предусматривала испытание как неармированных, так и армированных образцов с разными процентами армирования, длинами и диаметрами проволок.

Для экспериментальной проверки были изготовлены образцы — балочки размерами $50 \times 50 \times 540$ мм. Для изготовле-

ния образцов применялись цемент Рижского завода марки «400» и песок Гаркалнского карьера с модулем крупности $M_k \cong 2,1$. Образцы изготовлялись с постоянным $v/c = 0,45$ и постоянным отношением $c/n = 1 : 3$.

Бетон перемешивался в лабораторной 100 л бетономешалке гравитационного типа действия в течение 3÷4 мин без проволочек. Потом небольшими порциями добавлялись отрезки проволоки, и смесь перемешивалась в течение 1÷2 мин. Для уплотнения образцов применялся вибростол 435 А. Во время вибрирования формы пополнялись бетоном по мере надобности. Общая продолжительность вибрирования (5 мин) была сохранена одинаковой как для армированных, так и для неармированных образцов. После распалубки до момента испытания образцы хранились в камере нормального твердения. Испытывались образцы в возрасте 45÷55 дней.

Для испытания образцов на изгиб был изготовлен специальный стенд. На стенде балочки нагружались двумя сосредоточенными силами в третях пролета, для чего использовалась платформа, подвешенная через траверсу к балке. Платформа нагружалась чугунными чушками весом примерно по 19 кг каждая, которые прикладывались через определенное время. Все образцы испытывались до разрушения. Разлом образцов происходил, как правило, между точками приложения сил. Имелись лишь отдельные случаи, когда разлом происходил в промежутке между опорой и местом приложения силы.

Для получения прочностных и деформативных характеристик иглобетона были испытаны 318 балочек, в том числе 102 неармированных. В армированных образцах применялась проволока двух диаметров (0,3 и 0,4 мм), четырех длин (10, 20, 30, 40 мм) и трех разных процентов армирования (1%, 2%, 3%).

Величина разрушающих напряжений в $кг/см^2$ была определена как для одногодного изотропного материала по формуле (7)

$$R_{p.и} = \frac{PL}{b \cdot h^2} \quad (7)$$

где P — величина разрушающей нагрузки;

L — пролет балки;

b — ширина балки;

h — высота балки.

5. Результаты экспериментального исследования.

Испытание неармированных образцов показало, что прочность на растяжение при изгибе отдельных образцов находится в пределах от 33 (мин) ÷ 57 (мах) $кг/см^2$. Среднее

арифметическое каждой серии (серия состоит из 6 образцов) находится в пределах от $36 \div 46$ кг/см², а коэффициент изменчивости — в пределах от $5 \div 13$ %. Среднее арифметическое всех испытанных образцов равно 40,9 кг/см², а коэффициент изменчивости $C_v = 14$ %. Испытание на сжатие неармированных образцов — кубиков — показало, что изменчивость при сжатии меньше и не превышает $8 \div 9$ %.

Испытание на изгиб армированных образцов показало, что присутствие хаотически ориентированного армирования повышает предел прочности на растяжение при изгибе. Причем этот прирост увеличивается с ростом процента армирования примерно линейно (рис. 3).

Увеличение процента армирования выше 3% создало трудности при перемешивании и укладке бетона и требует другой технологии изготовления.

Как уже отмечено выше, длина отрезков проволоки в экспериментах изменялась в пределах от $10 \div 40$ мм. Сравнивая полученные результаты, видим, что с ростом длины отрезков растет и предел прочности на растяжение при изгибе. Причем в исследованной области диаметров и длин отрезков наблюдается выдергивание арматуры из бетона. Это говорит о недостаточной анкеровке в бетоне, а увеличение длины отрезков создает технологические трудности при перемешивании и укладке бетона.

Испытание образцов с двумя разными диаметра проволоки показало, что прочность $R_{p.п.а}$ увеличивается с уменьшением диаметра проволоки.

Сравнивая коэффициенты изменчивости армированных и неармированных образцов, следует отметить, что для первых он несколько выше и в отдельных случаях может достигать даже 30%, а в среднем находится в пределах от $10 \div 18$ %. Самый высокий уровень коэффициента изменчивости наблюдается при сравнительно большой длине отрезков (30 и 40 мм) и малом проценте армирования. Это очевидно объясняется тем, что трудно получить при перемешивании равномерное распределение проволоки по всему объему бетона.

Выводы

1. Добавлением к мелкозернистому бетону в процессе его приготовления коротких отрезков тонкой проволоки образуется новый квазиизотропный композитный материал «иглобетон» с повышенным сопротивлением растяжению.

2. Объемное содержание дисперсного армирования иглобетона должно быть не менее 1% от объема бетона, длина

отрезков — не менее 20 мм и среднее расстояние между центроидами отдельных отрезков — не более $5,5 \div 6,0$ мм.

3. Прочность иглобетона на растяжение (R_p^H) увеличивается прямо пропорционально коэффициенту армирования, длине отрезков, степени сцепления отрезков проволоки с бетоном и обратно пропорционально диаметру проволок. Для определения R_p^H получена теоретическая зависимость, которая проверена экспериментально при изгибе иглобетонных балочек. При этом получено достаточно хорошее совпадение результатов.

4. Для целесообразного применения иглобетона в практике строительства существует много возможностей, в том числе и использование его в дорожном строительстве: бетонные покрытия дорог, тротуарные плиты, бордюрные элементы, тонкостенные покрытия павильонов и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Romualdi G. P. and Batson G. B. The Behavior of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement. ACI Journal, Proc. V. 60. No. 6, June 1963, pp. 775-789.

2. Romualdi G. P. and Batson G. B. The Mechanics of Crack Arrest in Concrete. Journal ASCE, V. 89, EM 3, Paper 3558, June 1963, pp. 147-168.

3. Некрасов В. П. «Железная солома» и «железный волос». В кн. «Метод косвенного вооружения бетона». Новый железобетон. Часть I. НКПС. Транспечать. М.-1925., стр. 150—164.

4. Аболиньш Дз. С. и Кравинскис В. К. Железобетон с дисперсным армированием из близко расположенных коротких отрезков тонкой проволоки. Сб. «Исследования по механике строительных материалов и конструкций», вып. III, РПИ. Рига, 1969.

5. Аболиньш Дз. С. и Кравинскис В. К. Дисперсно хаотически армированный бетон как двухфазный материал, и некоторые экспериментальные данные о его прочности при центральном сжатии и изгибе. В сб. «Исследования по механике строительных материалов и конструкций», вып. IV, РПИ, стр. 117—123. Рига, 1969.