

## СТАЛЬНЫЕ ВОЛОКНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

Ключник С.Н., Мишутин А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

**В статье приводится анализ стальных волокон для армирования бетона. Выполнено их сравнение по прочности, деформативности, химической стойкости армирующего материала, адгезии к бетону.**

Не все армирующие волокна отвечают требованиям, которые предъявляются к арматуре бетона. Здесь, прежде всего, необходимо учитывать такие показатели, как прочность, деформативность, химическая стойкость армирующего материала, его адгезия к бетону, коэффициент линейного расширения и т.д.

Наиболее эффективной в конструкционном отношении является стальная фибровая арматура, модуль упругости которой примерно в 6 раз превышает модуль упругости бетона.

Металлические волокна, применяемые в качестве арматуры, изготавливаются различными способами: механическим, электромеханическим, формованием из расплава.

Наибольшее применение для армирования бетонов получают нарезанные из проволоки отрезки стальных волокон-фибр диаметром 0,3-1,6 мм. Обычно используется стальная низкоуглеродистая проволока общего назначения ГОСТ 3282-74. Определенный интерес представляет получение плоских стальных фибр сечением 0,15-0,4 на 0,25-0,9 мм из металлической фольги, лент, листов, пластин или сплюсненной круглой проволоки.

Для получения дисперсно-армированных бетонов важное значение имеют геометрические параметры фибр, характеризующиеся их относительной длиной (отношение длины к диаметру фибр). Эти параметры влияют не только на степень заанкеривания фибр в бетоне, но и на технологические процессы получения однородных составов армированной бетонной смеси. Опыты показывают, что могут наблюдаться три различных состояния, зависящие от длины фибр и от состояния массы фибровой арматуры [1].

Длина фибр  $l \leq 50d$ . В этом случае масса фибр обладает сыпучестью, и каких-либо проблем, связанных с получением однородного состава армированной бетонной смеси при перемешивании в стандартных бетоносмесителях, не возникает. Однако применение коротких фибр

невыгодно, так как их длина недостаточна для заанкеривания в бетоне. Соответственно прочность стали в конструкциях используется не полностью.

Длина фибр  $l=80-120d$ . Увеличение длины фибр приводит к тому, что масса их приобретает связанность. Однако пучки сцепившихся друг с другом фибр при встряхивании постепенно рассыпаются. Получение однородной бетонной смеси в данном случае возможно при постепенном введении фибр в смесь в процессе ее перемешивания. При использовании стандартных бетоносмесителей количество вводимой фибровой арматуры ограничивается соотношением  $\mu=2,5d/l$ .

Длина фибр  $l=200d$  и более. Связность фибр в этом случае достигает такого уровня, что получение смеси бетона с фибрами путем их перемешивания в смесителях практически невозможно. Здесь требуются другие технологические приемы совмещения бетона с фибрами, например, основывающиеся на методах роторного набрызга.

Как показал опыт, наиболее приемлемым можно признать соотношение  $l/d=100$ .

На эффективность работы армированных волокнами бетонов большое влияние оказывают характеристики сцепления фибр с бетоном. Для увеличения сцепления между стальной фибровой арматурой и бетоном рекомендуется проволока периодического профиля с рельефной и деформированной поверхностью, проволоки прямоугольного и квадратного сечений, с переменным по длине сечением, переходящим от круглой к прямоугольной форме, а также гнутые фибры, фибры с отгибами на концах, с различного рода анкерами и т.д. В табл. 1 приведены результаты исследований ряда авторов, характеризующие влияние различных видов обработки стальной проволоки на прочность ее сцепления с цементным камнем [2]

Как видно, наиболее эффективные способы обработки проволоки - окисление при температуре  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нанесение на поверхность проволоки покрытия из эпоксидной смолы и цемента, а также горячее и электролитическое цинкование. При механической обработке наибольший эффект получен при загибании петель на концах проволок. Однако введение в бетонную смесь проволоки с петлевыми юнцами может затруднить перемешивание такой смеси.

Индекс, характеризующий повышение прочности сцепления с бетоном фибр периодического профиля по сравнению с необработанными (гладкими) фибрами, принят равным 2 [3].

В табл. 2 приведены показатели стоимости фибр, % [4]. Как видно, стоимость фибр зависит во многом от стоимости исходного сырья.

таблица 1

Способ обработки проволоки	Прочность сцепления проволоки с цементным камнем - усилие выдергивания (усредненные данные) Н	Индекс, характеризующий повышение прочности сцепления с цементным камнем обработанной проволоки по сравнению с необработанной
<u>Химический</u>		
Очистка в трихлорэтилене	29	1,5
Травление:		
в разбавленной азотной кислоте	29	1,5
в концентрированной азотной кислоте:	32	1,5
в щавелевой	21	1
в растворе фосфата	24	1,2
Окисление:		
при температуре 350 °С	39	2
при температуре 600 °С	93	4,7
образование небольшого количества ржавчины	40	2
Нанесение полимерных покрытий:		
из эпоксидной смолы	61	3,1
из эпоксидной смолы и цемента	112	5,7
на основе поливинилацетата	40	2
Нанесение покрытий, содержащих металлы:		
горячее цинкование	149	7,8
электролитическое цинкование	102	5,2
горячее цинкование и обработка раствором хромата	74	3,7
электролитическое цинкование и обработка раствором хромата	82	4,2
<u>Механический</u>		
Обработка наждаком (шкуркой)		
в направлении, параллельном оси проволоки	28	1,4
в радиальном направлении	35	1,8
Раздавливание в тисках	67	3,4
Нанесение зазубрин	74	3,7
Скручивание	31	1,6
Наплавление небольших шарообразных выступов	128	6,5
Расплющивание концов отрезков	175	8,9
Загибание:		
концов отрезков	109	5,5
петель на концах отрезков	212	10,8
зигзагообразное загибание отрезков	92	4,7
отрезков вокруг круглого стержня	82	4,2

Стоимостные показатели для фибровой арматуры учитывают условия их опытного производства. Также стоимость фибры зависит от ее геометрических размеров. Чем меньше диаметр фибр, тем выше их

таблица 2

Вид волокон и технологические приемы их получения	Расходы, %				Недостатки производства
	на сырье	на обработку сырья и получение волокон	на прочие (упаковка, транспортировка и др.)	итого	
Круглые в поперечном сечении, получаемые резкой стальной проволоки	67	13	20	100	Высокая стоимость исходного сырья
Квадратной или прямоугольной формы в поперечном сечении, получаемые резкой листовой стали	33	17	20	70	Сравнительно небольшой срок службы режущего инструмента
Треугольной формы в поперечном сечении или в виде тонких пластин, получаемых резкой стальных заготовок	21	17	20	58	То же
Серповидной формы, получаемые извлечениям из расплава	13	17	20	50	Трудности в подборе долговечных материалов для печей

стоимость. Вместе с тем, начиная примерно с диаметров 0,3-0,4 мм и выше, стоимость фибровой арматуры сопоставима со стоимостью тканых сеток, используемых в армоцементе; при диаметрах фибр примерно 1-1,2 мм и более стоимость фибр сопоставима со стоимостью сварных сеток.

Обобщая и систематизируя результаты исследований, изложенных в данной статье, применение стальных волокон в виде проволоки периодического профиля с рельефной поверхностью и отгибами на концах наиболее практично и экономично для дисперсного армирования бетонных покрытий с упрочненным верхним слоем, что приводит к сокращению срока выполнения работ, увеличению сцепления стальной фибры с бетоном, уменьшению толщины пола при сохранении всех прочностных параметров.