Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.283

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БЕТОНА НА ПРОЧНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШТАНГ

В. М. Рогинский

Прочность закрепления железобетонных штанг зависит от типа и механических свойств армирующих стержней и прочности бетона. Вопрос выбора арматуры в зависимости от ее механических свойств освещен в литературе достаточно полно, прочностные же характеристики бетона, применяемого для железобетонных штанг, изучены недостаточно. Анализ литературных данных показывает, что состав применяемого на практике бетона колеблется в широких пределах:

Состав бетона (цемент : песок)	1 : 0	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4
Водоцементное отношение, $B : Ц$	0,33 ÷ 0,50	0,35 ÷ 0,50	0,40 ÷ 0,80	0,50 ÷ 0,70	0,60
Число случаев применения	16	7	24	5	2

В основном применяют бетоны состава 1 : 0 и 1 : 2.

При выборе бетона для железобетонных штанг за основной критерий принимают не его состав, а водоцементное отношение, за счет изменения которого достигается необходимая удобоукладываемость бетонной смеси. На практике, как правило, используют бетонные смеси с завышенным водоцементным отношением, так как пластичные смеси легче готовить и ими значительно проще заполнять скважины, особенно специальными нагнетающими средствами. Однако состав бетона (соотношение цемента, песка и воды) определяет прочность бетона и его сцепление с арматурой, а следовательно, и прочность закрепления железобетонных штанг.

Нами проведены специальные исследования по определению состава бетонов, обеспечивающего высокую прочность закрепления железобетонных штанг. При этом изучалось также влияние на прочность закрепления штанг водоцементного отношения и крупности песка.

Испытания проводили на следующих материалах: 1) цементе глиноземистом марки 500 Пашийского завода; 2) песке с модулем крупности $M_к = 1{,}3 \div 2{,}8$ при естественной влажности; 3) армирующих стержнях двух типов — гладких диаметром 20 *мм* и периодического профиля диаметром 18 *мм*. Рабочая длина (длина заделки арматуры в бетоне) гладких стержней 70 *см* и стержней периодического профиля 30 *см*.

Скважины имитировали металлическими разъемными матрицами с внутренним диаметром 40 *мм* (что соответствует примерно диаметру скважин в натуре), которые при сборке соединялись хомутами. Матрицы за-

подняли бетоном соответствующего состава с последующим введением в них арматуры и хранили до испытаний в воздушновлажной среде при температуре воздуха 14° С. Одновременно для определения предела прочности бетона при сжатии готовили кубики (по 5 штук в каждой серии опытов) с размером ребра 7,07 *см*.

Смещение стержней относительно бетона замеряли устройством, снабженным индикатором часового типа с ценой деления 0,01 *мм*. Испытания проводили на универсальной испытательной машине, оборудованной специальным приспособлением (рис. 1). При этом фиксировали нагрузки, соответствующие началу сдвига армирующих стержней относительно бетона и полному нарушению между ними сцепления (потери прочности закрепления). Прочность закрепления (сопротивление вытягиванию арматуры) вычисляли по данным четырех результатов испытаний арматуры на вытягивание.

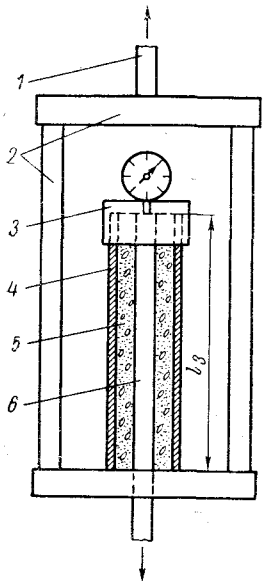


Рис. 1. Устройство для определения прочности закрепления железобетонных штанг:

1 — к захвату разрывной машины; *2* — траверса; *3* — замерное устройство; *4* — металлическая матрица; *5* — бетон; *6* — армирующий стержень.

Установлено, что состав бетона существенно влияет на прочность и жесткость заделки арматуры. Общему нарушению сцепления между бетоном и арматурой предшествует начальный сдвиг стержней (см. таблицу), который происходит при нагрузке, составляющей 65—85%, в зависимости от состава бетона, от максимального усилия вытягивания. Разница между начальным сдвигом и полным нарушением сцепления 1,5—2,5 *т* при смещении арматуры в этом интервале на 1—2,5 *мм*.

Рост нагрузки в диапазоне сдвиг — нарушение сцепления можно объяснить как упругим обжатием бетона, так и неупругим его смятием (на некоторой длине стержня) под микронеровностями гладкой арматуры и выступами арматуры периодического профиля.

В железобетонной штанге поверхность арматуры покрыта слоем бетона, в котором песок является как бы основанием, причем его прочные зерна создают жесткий скелет. Увеличение толщины слоя цемента между зернами песка в бетоне значительно снижает прочность заделки штанг.

При бетоне состава 1 : 0 начальный сдвиг арматуры происходит при нагрузках, составляющих 65—75% от разрушающих, а при составе бетона 1 : 1 — 1 : 3 соответственно 80—85%. При этом усилие, соответствующее начальному сдвигу арматуры периодического профиля, в 1,3—1,5 раза выше, чем при гладкой арматуре.

Как известно [Михайлов, 1952], сцепление арматуры с бетоном происходит под влиянием трех факторов: 1) сил молекулярного взаимодействия металла и бетона на их поверхностях (склеивание); 2) механического зацепления неровностей на контактных поверхностях (бетон заполняет все неровности на поверхности арматуры и, затвердев, препятствует ее смещению); 3) сил трения, возникающих из-за усадки бетона.

На изменение сцепления гладкой арматуры с бетоном наименьшее влияние оказывает первый фактор. Можно предположить, что сцепление мало зависит от соотношения составляющих для бетона состава 1 : 2 и 1 : 3. Наличие в бетоне песка, а также характер поверхности его зерен оказывают значительное влияние на внутреннее трение и упругость

Таблица

Влияние состава бетона на прочность закрепления железобетонных штанг

Состав бетона (цемент : : песок)	Водоцементное отношение, В : Ц	Прочность бетона при сжатии, *кГ/см²*	Длина заделки арматуры в бетоне, *см*	Сопротивление арматуры вытягиванию, *Т*	
				при начальном сдвиге	при нарушении сцепления
Штанги с гладкой арматурой диаметром 20 *мм*					
1 : 0	0,33	550	70	3,6	4,8
1 : 1	0,35	525	70	6,75	7,9
1 : 2	0,40	509	70	6,9	8,22
1 : 3	0,50	450	70	6,0	7,58
Штанги с арматурой периодического профиля диаметром 18 *мм*					
1 : 0	0,33	550	30	4,6	7,2
1 : 1	0,35	525	30	9,48	11,9 *
1 : 2	0,40	509	30	10,46	12,1 *
1 : 3	0,50	450	30	9,25	11,4

* В семи случаях из десяти стержень разрывался по резьбе.

бетона. Очевидно, сопротивление бетона извлечению (вытягиванию) арматуры определяется прочностью зерен песка и соединяющего их цементного камня на срез и смятие, структурой слоя, окружающего арматуру, а также количеством в бетоне пустот и пор, заполненных водой и воздухом.

В цементных бетонах (1 : 0) роль упругого обжатия и неупругого смятия под неровностями и выступами арматуры значительно ниже, чем в песчаном бетоне оптимального состава. Несмотря на более высокий предел прочности, сопротивление сдвигу бетона состава 1 : 0 при сжатии оказалось меньше, чем песчаных бетонов, в среднем в 1,3 раза.

Высокие напряжения сжатия, смятия и среза песчаного бетона под микронеровностями и выступами на поверхности арматуры, возникающие при ее вытягивании из бетона, вызывают существенную деформацию последнего. Наряду с этим заклинивание частиц ведет к расширению бетона в тангенциальном направлении, что также препятствует смещению стержней.

Влияние В : Ц и крупности песка на прочность бетона установлено опытами (рис. 2, 3). Оптимальным В : Ц для бетона 1 : 1 оказалось 0,35 и для бетона 1 : 2 соответственно 0,40 (рис. 2, кривая *а*). Увеличение и уменьшение расхода воды против оптимального существенно снижает прочность бетона. Снижение прочности бетона при увеличении В : Ц связано с наличием в бетоне избыточной воды. В результате количество пор в бетоне резко возрастает. Поры не только уменьшают рабочую площадь сечения бетона, но и обусловливают концентрацию напряжений на своих границах, снижая общую несущую способность цементного камня. Иными словами, чем лучше подвижность бетонной смеси данного состава, тем ниже прочность затвердевшего бетона.

Как оказалось, увеличение В : Ц от 0,40 (для бетона 1 : 2) до 0,65 снизило прочность бетона в 3,5 раза (рис. 2, кривая *б*). Аналогично уменьшилась с увеличением В : Ц прочность бетона 1 : 1, т. е. бетоны с небольшим содержанием песка особенно чувствительны к повышенному содержанию воды. Кроме того, при высоких водоцементных отношениях все

более возрастающее влияние на прочность песчаных бетонов оказывают процессы водоотделения и расслоения. Они развиваются постепенно, и все сильнее с увеличением В : Ц, способствуют образованию в бетоне крупных пор, значительно ослабляют зону контакта между цементным камнем и песком. В результате прочность бетона снижается в большей степени, чем можно было ожидать исходя из его общей пористости и плотности. Б. Г. Скрамтаев [1936] показал, что с увеличением содержания песка или уменьшением его крупности водоотделение бетона и его расслоение начинаются при более высоких В : Ц и развиваются менее интенсивно, чем в жирных смесях или цементном тесте.

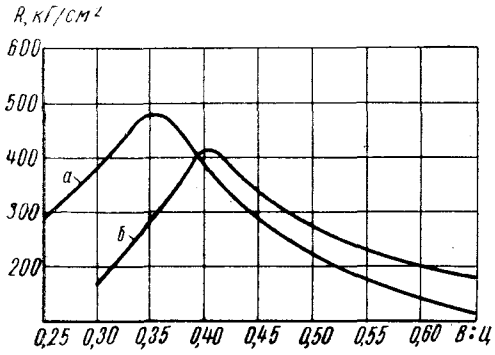


Рис. 2. Зависимость прочности цементно-песчаного бетона от водоцементного отношения (В : Ц):

а — бетон состава 1 : 1; *б* — то же, 1 : 2.

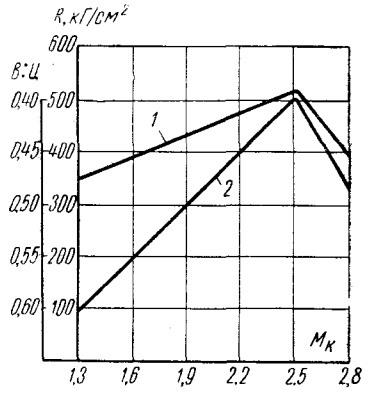


Рис. 3. Зависимость прочности бетона состава 1 : 2 от модуля крупности песка $M_к$ и В : Ц:

1 — прочность бетона; *2* — *В* : *Ц*.

Как показывает анализ кривых рис. 3, уменьшение крупности песка требует для сохранения той же подвижности повышения водоцементного отношения, что в свою очередь ведет к потере прочности бетона. Например, замена песка средней крупности ($M_к = 2,5$) мелким ($M_к = 1,3$) требует для получения равноподвижной смеси увеличения В : Ц с 0,40 до 0,60, что снижает прочность бетона в 1,4 раза. Таким образом, при подборе состава бетона для железобетонных штанг необходимо учитывать крупность песка.

Выводы

1. Поскольку всякое смещение железобетонных штанг недопустимо, их прочностью закрепления надо считать нагрузку, вызывающую начальный сдвиг арматуры относительно бетона, а не максимальное усилие вытягивания.

2. Прочность закрепления железобетонных штанг в большой мере зависит от соотношения составляющих бетона (цемента, песка и воды). Оптимальным составом такого бетона надо считать соотношение цемента и песка 1 : 2 при водоцементном отношении 0,40. Целесообразно использовать песок средней крупности ($M_к = 2,2 \div 2,5$).

3. В настоящее время железобетонные штанги устанавливают с применением пластичных (жидких) бетонных смесей, что объясняется технологией нагнетания бетонов в скважины. Исключение составляют способ Ленинградского горного института [Волжский, Рогинский, 1964], по которому подача бетона в скважины осуществляется легким ручным шприцем, и метод «Перфо», обеспечивающие применение жестких бетонов.

Создание средств механизации для заполнения скважин жесткими бетонными смесями позволит при прочих равных условиях увеличить прочность закрепления железобетонных штанг уже в первые часы после их установки в два раза и более.

ЛИТЕРАТУРА

Михайлов К. В. Сцепление арматуры с бетоном. В сб. Исследования железобетонных конструкций. Стройиздат, 1952.

Скрамтаев Б. Г. Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси. Стройиздат, 1936.

Волжский В. М., Рогинский В. М. Новый способ установки железобетонных штанг. Информ. листок ЦБТИ Средне-Уральского СНХ, 1964.