

К. С. Карапетян

Ползучесть бетона при кручении

§ 1. Введение

Влияние фактора времени на прочность и деформативность бетона при кручении мало исследовано, между тем это имеет как теоретическое, так и практическое значение. Как известно, бетон под длительной нагрузкой наделен свойством ползучести, благодаря чему его деформации со временем намного превосходят соответствующие упруго-мгновенные деформации. Поэтому учет ползучести бетона при проектировании бетонных и железобетонных конструкций имеет важное значение.

Для учета ползучести бетона существуют различные теории, которые базируются на ряде предпосылок, приемлемость которых в отношении такого напряженного состояния, как кручение, насколько автору известно, пока никем не изучалась [1].

§ 2. Цель исследования

Цель данных исследований заключалась в экспериментальном определении приемлемости второй и третьей предпосылок теории упруго-ползучего тела при кручении.

Согласно этим предпосылкам связь между упругими деформациями и напряжениями, а также между деформациями ползучести и напряжениями, до определенного напряжения, принимается линейной [1].

Кроме этого, важно было также установить, существует ли закономерная качественная и количественная связь между деформациями ползучести при кручении и растяжении. Есть предположение, что ползучесть бетона при кручении и растяжении практически одинакова [2]. Однако, экспериментально это пока никем не установлено.

Наличие закономерной связи намного облегчит исследования ползучести бетона и даст возможность получить более достоверные данные.

Здесь имеется в виду то обстоятельство, что не при всех видах напряженных состояний можно непосредственно получить чистые деформации ползучести.

При сжатии и растяжении деформации ползучести измеряются в сумме с объемными деформациями бетона, обусловленными набуханием и усадкой бетона. Чтобы отделить деформации ползучести от суммарных,

приходится параллельно на ненагруженных образцах-близнецах определять объемные деформации бетона.

По мнению некоторых исследователей такой метод определения деформаций ползучести не является достоверным. Однако, пока что этот метод является единственным.

Совсем другое имеет место при кручении. В этом случае объемные деформации бетона не накладываются на деформации ползучести, что исключает необходимость параллельного определения объемных деформаций бетона на образцах-близнецах.

Таким образом, при кручении замеряются чистые деформации ползучести.

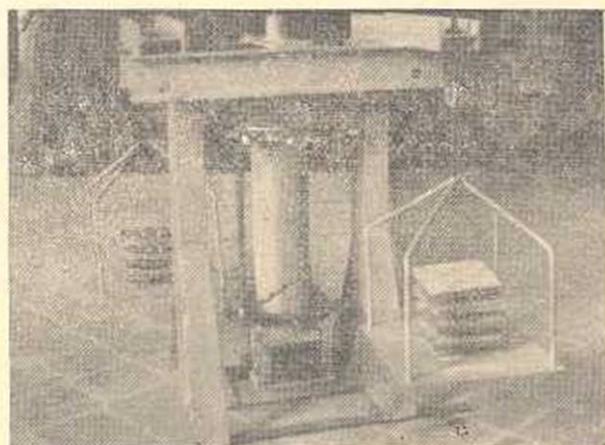
Поэтому в случае наличия закономерной связи правильнее будет экспериментально определять ползучесть бетона при кручении и по этим данным оценивать ползучесть при растяжении и сжатии.

Помимо указанных вопросов, целью данной работы являлось также исследование:

1. Влияния фактора времени на прочность и деформативность бетона при кручении.
2. Влияния длительного нагружения бетона крутящим моментом на его прочность и деформативность при кручении в зависимости от величины напряжения в процессе длительного нагружения.

§ 3. Методика исследования

Для исследования ползучести бетона при кручении были изготовлены специальные приспособления (фиг. 1). Испытывались образцы длиной 75 см. Образцы на участке 60 см по длине имели цилиндрическую форму



Фиг. 1.

диаметром 14 см, а по концам на участке 7,5 см — квадратное сечение (14 × 14 см). При испытании нижний конец опытного образца защемлялся в нижнем захвате приспособления, жестко закрепленного к его раме.

Кручение образца осуществлялось путем загрузки двух грузовых платформ, которые тросами через блоки были связаны с выступающими частями верхнего захвата, служащими плечом пары.

Методика измерения деформаций кручения была принята такая же, как в опытах В. В. Блинкова [2].

Опыты были поставлены над тяжелым бетоном, приготовленным на базальтовом щебне и кварцевом песке. В качестве вяжущего материала был применен портландцемент Араратского завода, активностью 360.

Характеристика бетона приводится в таблице 1.

Таблица 1

Состав бетона по весу	Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг				Объемный вес бетона в т/м ³	R_k в месячном возрасте в кг/см ²
	цемент	песок	щебень	вода		
1:3,31:3,83	267	884	1022	186	2,36	133

Для проведения намеченных программой опытов были изготовлены две серии образцов. Каждая серия включала 18 образцов для испытания на кручение, а также необходимое количество кубиков размером $10 \times 10 \times 10$ см и призм — $10 \times 10 \times 40$ см.

Каждая серия образцов изготовлялась из одного замеса бетона.

Бетон готовился вручную, а уплотнение бетона производилось на виброплощадке при продолжительности вибрации 15 сек. Приготовление образцов производилось в металлических разборных формах. Образцы освобождались от форм на четвертые сутки. Все образцы с момента изготовления хранились в помещении, где температура в период длительных испытаний $T = 21 \pm 7^\circ\text{C}$, а относительная влажность $p = 53 \pm 12\%$.

§ 4. Влияние фактора времени на прочность и деформативность бетона

Для изучения этого вопроса соответствующие образцы были испытаны в возрасте 7, 28, 120, 520 и 630 дней. При испытании призм на сжатие и цилиндрических образцов на кручение нагрузка повышалась ступенями. Под каждой ступенью нагрузки образцы выдерживались лишь на время, необходимое для отсчетов по измерительным приборам.

Кривые нарастания кубиковой и призмной прочностей, а также прочности бетона на кручение* во времени представлены на фиг. 2. Кривые построены на основании формул

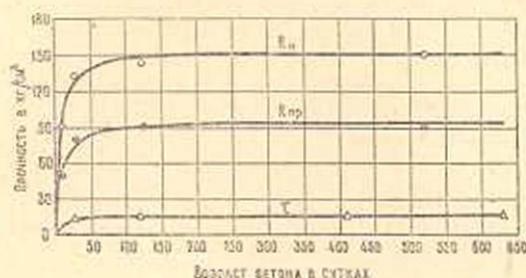
* Прочность бетона на кручение определялась по формуле $\tau = \frac{M_{кр} r_0}{J_n}$

$$R_k = \frac{100t}{3,5 + 0,65t} \quad (1)$$

$$R_{np} = \frac{100t}{7,6 + 1,05t} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{100t}{65 + 6,1t} \quad (3)$$

где t — возраст бетона.



Фиг. 2.

Как видно из фиг. 2, кривые, построенные по формулам (1), (2) и (3), дают удовлетворительное совпадение с опытными данными.

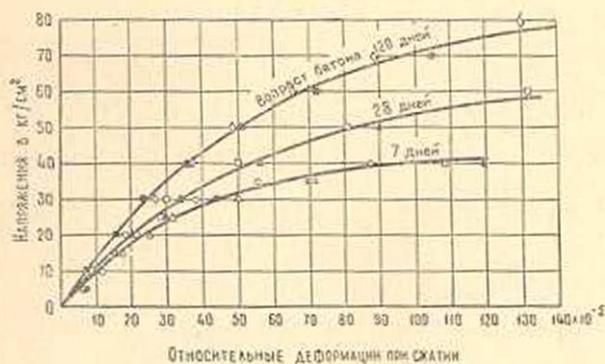
В табл. 2 приведены характеристики прочности бетона в различных возрастах, подсчитанные по этим формулам.

Таблица 2

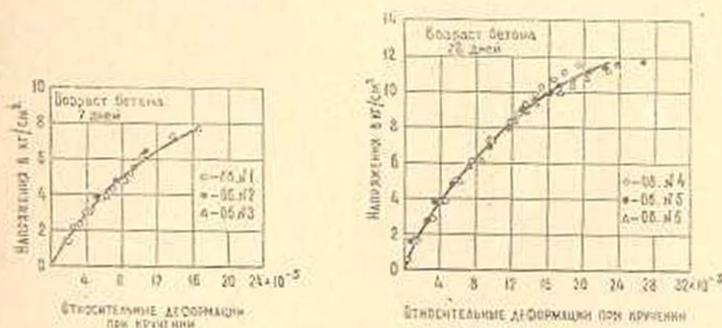
Характеристики прочности бетона	Возраст бетона в сутках					
	7	14	28	90	200	600
R_k в кг/см ²	87	111	129	145	150	152
R_{np} в кг/см ²	47	63	76	88	92	94
τ в кг/см ²	6,5	9,3	11,9	14,7	15,5	16,0
R_k в % от месячной прочности	68	86	100	112	116	118
R_{np} в % от месячной прочности	62	83	100	116	121	124
τ в % от месячной прочности	55	78	100	114	120	124
R_{np}/R_k	0,53	0,56	0,59	0,61	0,61	0,62
τ/R_k	0,075	0,084	0,092	0,101	0,103	0,105

На основании табл. 2 прочность бетона на кручение (после возраста бетона 28 дней) составляет примерно 10% от прочности на сжатие. Как известно, такая доля от прочности бетона на сжатие нормирована для прочности бетона на растяжение. В наших опытах

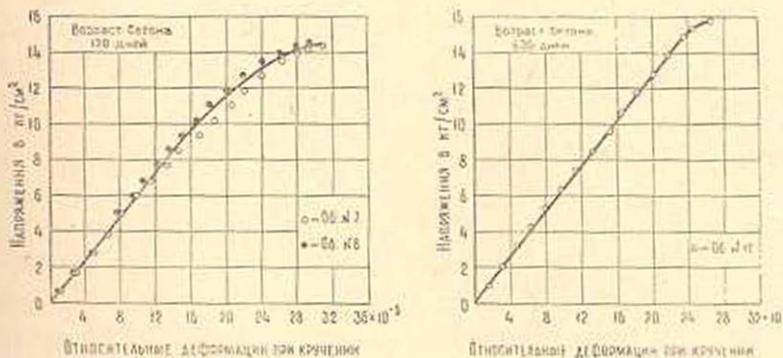
прочность бетона на растяжение, по испытаниям больших восьмерок, в месячном возрасте составляла 8 кг/см^2 , т. е. была намного меньше, чем прочность бетона на кручение. В опытах В. В. Блинова наблюдалось обратное явление [2].



Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

На фиг. 3 приведены для различных возрастов кривые деформаций бетона при сжатии. Кривые деформаций при кручении* приведены на фиг. 4 и 5.

На фиг. 4 связь между напряжениями и деформациями бетона при кручении до месячного возраста носит криволинейный характер. Для более зрелых возрастов эта связь до определенных напряжений носит линейный характер, а выше—криволинейный. При этом, чем



Фиг. 6.



Фиг. 7.

больше возраст бетона к моменту испытания, тем больше то напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость (фиг. 6).

Характерный вид разрушения бетонного образца при кручении приведен на фиг. 7.

§ 5. Ползучесть бетона при кручении

Согласно физической теории ползучести бетона Е. Фрейсинэ, ползучесть бетона, как и усадка, является исключительно следствием капиллярных явлений в порах бетона. При этом ползучесть рассматривается, как обычная усадка с гигрометрическим состоянием, внезапно увеличенным приложением сжимающей силы [14].

На то, что ползучесть бетона не является исключительно следствием капиллярных явлений, указывали ряд исследователей [9, 11]. Это было доказано и автором настоящей статьи путем постановки специальных опытов [4, 5, 6, 7]. На основании этих исследований нами была выдвинута обобщенная гипотеза механизма ползучести бетона, согласно которой ползучесть бетона при сжатии до напряжений 0,55—0,6 R является следствием как вязкости гелевой структурной составляющей цементного кам-

* Деформации при кручении определялись по формуле $\gamma = \frac{ar_0 10^{-3}}{r_1 \cdot l}$, где

a —отсчет по мессурам; r_1 —радиус прибора; r_0 —радиус образца; l —база прибора.

ня, так и капиллярных явлений, а при более высоких напряжениях еще и следствием появления и развития микротрещин в бетоне. Роль каждого из этих факторов в данном явлении зависит от состава бетона, характеристики вяжущего, возраста бетона к моменту загрузки, величины напряжения, температуры и влажности окружающей среды и т. д. Ползучесть бетона при сжатии, обусловленная капиллярными явлениями, в большей мере зависит от процесса высыхания бетона, т. е. от температуры и влажности окружающей среды.

Наши исследования показали, что ползучесть бетона при растяжении в основном протекает за счет вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня [6].

Е. Фрейсинэ на основании своей теории утверждает, что при кручении ползучесть бетона должна отсутствовать, так как кручение не приводит к изменению гигрометрического состояния бетона. Однако, как показали опыты некоторых исследователей, ползучесть бетона имеет место и при кручении [2].

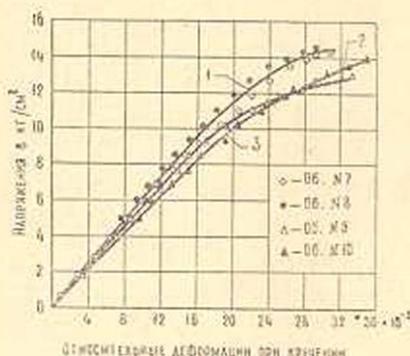
Как известно, даже при кратковременных испытаниях, длительность испытания оказывает существенное влияние на деформацию бетона. Причиной этого является развитие деформаций ползучести, которые тем больше, чем больше время нахождения бетона под нагрузкой. В опытах Гленвилля при обычных кратковременных испытаниях бетона на сжатие с различными выдержками (5, 15, 30 и 60 сек.) были получены расходящиеся кривые деформаций [12]. На основании этих опытов он пришел к выводу, что при мгновенном нагружении бетона связь между напряжениями и деформациями выражается линейной зависимостью.

В настоящей работе аналогичные опыты были поставлены на кручение. Возраст бетона к моменту испытания образцов составлял 120 дней. Всего было испытано 4 образца, из коих 2 образца (№ 7 и № 8) без выдержки, один образец (№ 9) с выдержкой 1 минуты и один образец (№ 10) — 5 минут.

Результаты этих опытов приведены на фиг. 8, откуда видно, что при кручении имеет место та же закономерность, что и при сжатии. Из фиг. 8 следует, что с увеличением продолжительности выдержки, а следовательно, и длительности испытания деформации бетона при кручении возрастают. Разница заключается лишь в том, что при кручении, независимо от длительности испытания, до определенных напряжений (0,6—0,65 τ) связь между напряжениями и деформациями выражается линейной зависимостью.

В этих опытах длительность испытания для образцов, испытанных без выдержки, составляла 8—9 минут, для образца, испытанного с выдержкой 1 минута, — 26 минут и для образца, испытанного с выдержкой 5 минут, — 95 минут. При этом пределы прочности бетона на кручение соответственно составляли 14,4; 13,3 и 14,3 кг/см². Эти данные показывают, что при кручении так же, как и при сжатии, чем больше длительность испытания, тем меньше прочность. Однако, такой вывод был бы правильным в том случае, если прочность

образца № 10, испытанного с наибольшей выдержкой, оказалась бы наименьшей. Фактически же она получилась почти равной прочности



Фиг. 8.

В этом случае и кривая (3) на фиг. 8 заняла бы положение ниже остальных.

На основании приведенных выше опытов, при кратковременных испытаниях, длительность испытания оказывает на прочность и деформативность бетона при кручении такое же влияние, как и при сжатии.

Явление, что при кручении до определенных напряжений (0,6—0,65 τ), независимо от длительности испытания, связь между напряжениями и деформациями бетона носит линейный характер, очевидно, характерно для бетона зрелого возраста.

Таким образом, при кручении так же, как и при сжатии, в зависимости от длительности испытания бетона может быть получено множество диаграмм деформаций бетона. Причиной этого, как уже отмечалось, является развитие деформаций ползучести. Возраст бетона к моменту испытания в этих опытах составлял 4 месяца. При более молодом возрасте расходимость кривых деформаций получилась бы еще большей.

Для исследования зависимости между напряжениями и деформациями ползучести бетона при кручении, бетонные образцы были загружены на длительное кручение при относительных напряжениях 0,25; 0,50; 0,60; 0,75; 0,80 и 0,90. Под длительную нагрузку были установлены 15 образцов. Возраст бетона к моменту длительного нагружения составлял 28 дней, а прочность на кручение — 11,4 кг/см².

Данные о загруженных образцах приводятся в табл. 3.

Образцы находились под длительной нагрузкой 305 дней. В процессе длительного нагружения образцы хранились в помещении, где температура $T = 21 \pm 7^\circ\text{C}$, а относительная влажность $P = 58 \pm 12\%$.

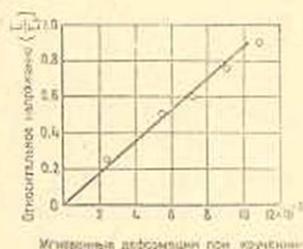
В момент нагружения образцов длительной нагрузкой измерялись упругие деформации. При этом связь между упругими деформациями и напряжениями при кручении выражается линейной зависимостью вплоть до относительного напряжения 0,90 (фиг. 9). На фиг. 9 связь между упругими деформациями и напряжениями выражается следующей зависимостью

$$\gamma_y = 11,4 \frac{\tau}{\tau_p} \times 10^{-5}. \quad (4)$$

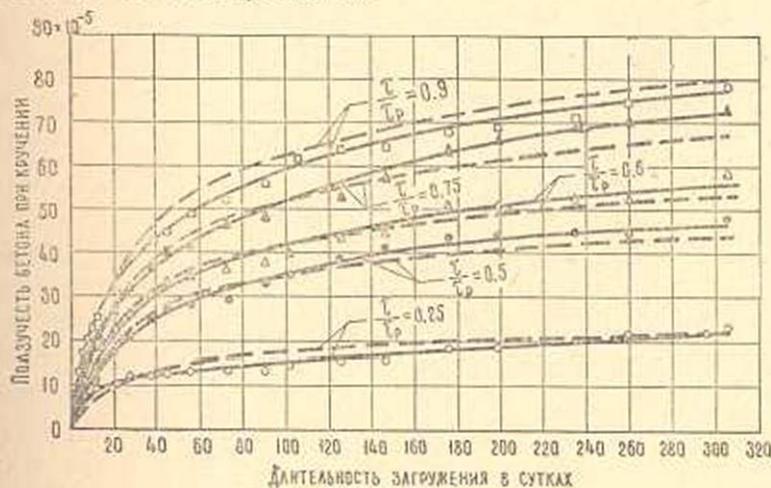
Таблица 3

Возраст бетона к моменту нагружения в сутках	τ_p в кг/см ²	$\frac{\tau}{\tau_p}$	τ в кг/см ²	Количество загруз. образцов в шт.
28	11,4	0,25	2,85	3
		0,50	5,70	3
		0,60	6,85	3
		0,75	8,55	3
		0,80	9,10	1
		0,90	10,25	2

На фиг. 10 жирными линиями нанесены экспериментальные кривые ползучести бетона при кручении для различных относительных напряжений. Кривая ползучести образца, нагруженного при относительном напряжении 0,8, не приводится, так как ее деформации не измерялись ввиду недостаточности приборов для измерения деформаций. Поэтому указанный образец предназначался для исследований влияния длительного нагружения на прочность и деформативность бетона при кручении. Как видно из фиг. 10, даже при длительности нагружения 300 дней деформации ползучести не стабилизировались.



Фиг. 9.



Фиг. 10.

На фиг. 10 приведены экспериментальные кривые ползучести (сплошные линии) и кривые (пунктир), построенные на основании формулы (5)

$$\tau_{\pi} = 100 [1 - 0,5 (e^{-0,05t} + e^{-0,005t})] \frac{\tau}{\tau_p} 10^{-5}. \quad (5)$$

Кривые, построенные на основании этой формулы, дают незначительное отклонение от экспериментальных кривых ползучести. Формула (5) может быть написана также в следующем виде

$$\gamma_n = 8,77 [1 - 0,5 (e^{-0,05t_1} + e^{-0,005t_1})] \varepsilon \cdot 10^{-5}. \quad (6)$$

Таким образом, те предпосылки теорий ползучести бетона, согласно которым принята линейная зависимость между упругими деформациями и напряжениями, а также между деформациями ползучести и напряжениями, справедливы и для случая кручения вплоть до относительного напряжения 0,9. На основании фиг. 9 и 10 характеристика ползучести бетона (φ_{r_1}), т. е. отношение деформаций ползучести к соответствующим упруго-мгновенным деформациям при кручении для длительности загрузки 300 дней составляет 7,7. При предельных деформациях ползучести, т. е. когда $t_1 = \infty$, на основании формул (4) и (5) характеристика ползучести приобретает значение 8,77.

В данной работе параллельно с исследованием ползучести бетона при кручении исследовалась также ползучесть при растяжении. Состав бетона был взят тот же, что и для опытов кручения. Отличалась лишь активность цемента, которая в этих опытах составляла 400 кг/см^2 .

В месячном возрасте прочность бетона на сжатие была 159 кг/см^2 , а на растяжение — 8 кг/см^2 .

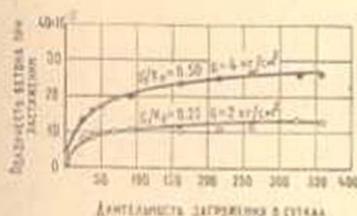
Образцы были загружены при относительных напряжениях 0,25 и 0,5, т. е. при напряжениях 2 и 4 кг/см^2 . Возраст бетона к моменту загрузки составлял 28 дней. Наблюдение за деформациями продолжалось 300 дней. Одновременно на образцах-близнецах определялись объемные деформации бетона. Деформации ползучести были получены путем исключения из деформаций загруженных образцов объемных деформаций. Результаты этих опытов приведены на фиг. 11, где экспериментальные данные описаны следующей зависимостью

$$\varepsilon_n = 60 [1 - 0,5 (e^{-0,05t_1} + e^{-0,005t_1})] \frac{\varepsilon}{\varepsilon_p} 10^{-5}. \quad (7)$$

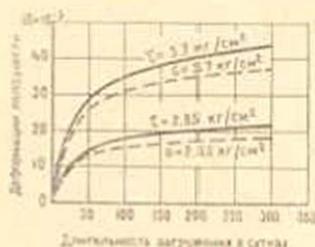
Как видно из фиг. 11 и формулы (7), связь между напряжениями и деформациями ползучести при растяжении также выражается линейной зависимостью. В опытах П. И. Васильева и Н. И. Катина [3, 10] такая закономерность сохранялась до относительного напряжения 0,9. Сравнение ползучести бетона при кручении и растяжении (фиг. 10 и 11) показывает, что при относительном напряжении 0,25 и длительности загрузки 300 дней ползучесть бетона при кручении на 65% больше, чем ползучесть бетона при растяжении.

На фиг. 12 сплошными линиями представлены кривые ползучести бетона при кручении для напряжений $2,85$ и $5,7 \text{ кг/см}^2$, которые соответствуют относительным напряжениям 0,25 и 0,50. Одновременно на этом же графике, на основании формулы (7), пунктиром нанесены кривые ползучести бетона при растяжении для тех же значений напряжений.

Сравнение кривых ползучести, приведенных на фиг. 12, показывает, что при одинаковых напряжениях ползучесть бетона при кручении и растяжении практически можно считать одинаковой. Разница в данном случае не превышает 17%. Эта незначительная разница могла бы и не полу-



Фиг. 11.



Фиг. 12.

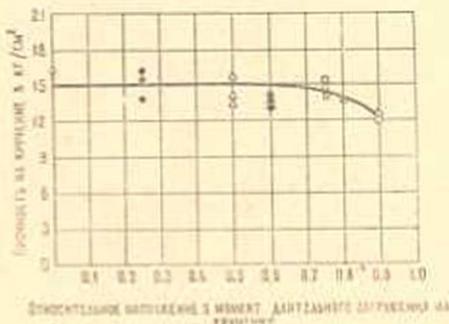
читься, если бы в обоих случаях бетоны были бы приготовлены на одном и том же цементе.

Таким образом, из наших опытов вытекает важный вывод, что при одинаковых напряжениях и прочих равных условиях ползучесть бетона при кручении и растяжении практически одинакова.

§ 6. Влияние длительного кручения на прочность и деформативность бетона при кручении

Влияние длительного нагружения бетона на его прочность и деформативность мало исследовано. Причем существующие исследования в основном относятся к случаю сжатия [10, 12]. На основании этих исследований, до определенных значений напряжений, длительное нагружение бетона сжимающей нагрузкой обычно приводит к положительному эффекту, заключающемуся в том, что бетон, твердеющий под нагрузкой, имеет большую прочность и модуль упругости.

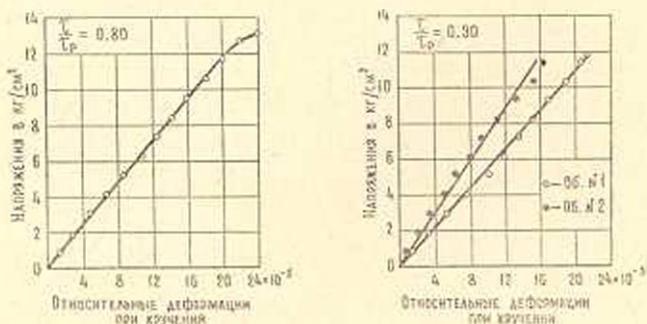
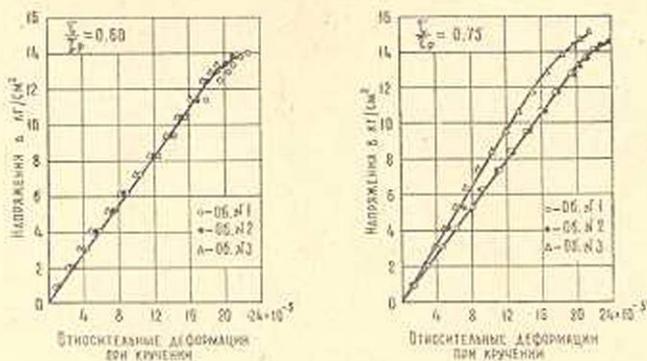
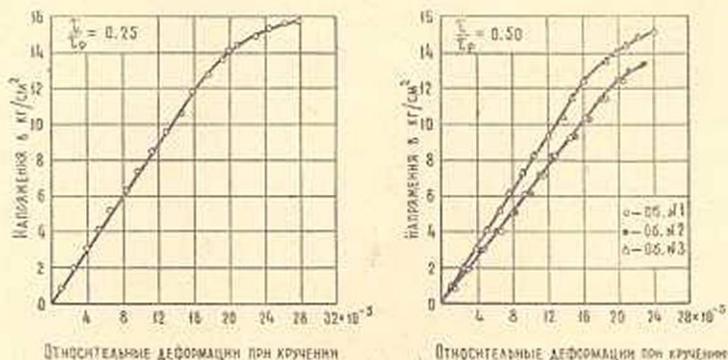
Для исследования влияния длительного кручения на прочность и деформативность бетона все образцы, длительно нагруженные крутящим моментом, после разгрузки были испытаны на кручение. Одновременно испытывались и образцы, которые не испытывали длительного кручения. Возраст бетона к моменту испытания составлял 630 дней. Результаты этих опытов приведены на фиг. 13, где каждая экспериментальная точка соответствует прочности одного образца. На основании фиг. 13 длительное нагружение бетона крутящим моментом, когда вызванное этим относительное напряжение в бетоне не превышает 0,6–0,7, не влияет отрицательно на его прочность при кручении. При более высоких



Фиг. 13.

напряжениях длительное кручение приводит к некоторому понижению прочности бетона на кручение. Так, например, при относительном напряжении 0,9 это понижение прочности составляет 20%.

Рассмотрим, как влияет интенсивность напряжения длительного кручения на деформативность бетона при последующем испытании на кручение (фиг. 14, 15 и 16).

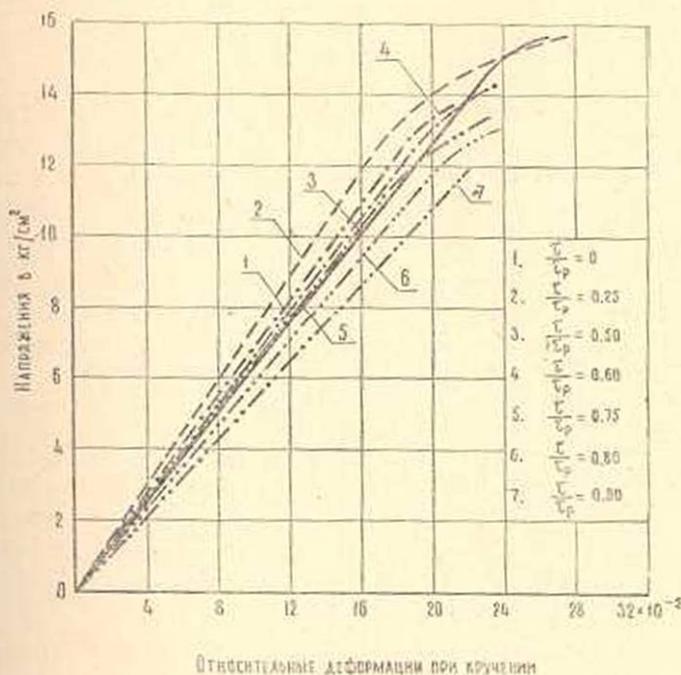


Рассматривая фиг. 14, 15 и 16, можно отметить, что во всех случаях, до определенных напряжений, связь между напряжениями и деформациями

кручения имеет линейный характер, а выше — криволинейный. При этом чем больше относительное напряжение в процессе длительного кручения, тем больше то относительное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость. Так, например, для тех образцов, которые были загружены на длительное кручение при относительном напряжении 0,9, линейная зависимость между напряжениями и деформациями кручения практически сохраняется до момента разрушения бетона (фиг. 16). Это говорит о том, что в этом случае разрушению образца не предшествует увеличение скорости деформаций, как это имеет место в тех образцах, которые были загружены на длительное кручение при меньших напряжениях.

На фиг. 17 приведены наиболее характерные кривые деформаций кручения бетонных образцов, которые испытывали разное относительное напряжение в процессе длительного кручения. Одновременно приводится кривая и для тех образцов, которые не испытывали длительного кручения.

Из фиг. 17 следует, что длительное кручение бетона, когда относительное напряжение не превышает 0,75, приводит к уменьшению деформаций кручения, а в случае более высоких напряжений — к увеличению деформаций.



Фиг. 17.

Таким образом, влияние длительного кручения на прочность и деформативность бетона при кручении выражается теми же закономерностями, что и влияние длительного сжатия на прочность и деформативность бетона на сжатие.

В результате проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Прочность бетона на кручение составляет примерно 10% от прочности бетона на сжатие.

2. Прочность бетона на кручение больше, чем прочность бетона на осевое растяжение.

3. Длительность испытания оказывает существенное влияние на прочность и деформации бетона при кручении. Чем больше длительность испытания, тем меньше прочность и больше деформации.

4. В случае мгновенного нагружения связь между напряжениями и деформациями бетона при кручении выражается линейной зависимостью.

5. Возраст бетона к моменту испытания оказывает существенное влияние на закон деформаций бетона при кручении.

При обычных кратковременных испытаниях бетона на кручение связь между деформациями и напряжениями до месячного возраста носит криволинейный характер, после месячного возраста до определенных напряжений — линейный характер, а выше — криволинейный. При этом чем больше возраст бетона к моменту испытания, тем больше то относительное напряжение, до которого сохраняется начальная линейная зависимость.

6. Связь между напряжениями и деформациями ползучести бетона при кручении носит линейный характер вплоть до относительного напряжения 0,9.

7. При одинаковых напряжениях и прочих равных условиях ползучесть бетона при кручении и осевом растяжении практически равны.

8. Длительное нагружение бетона крутящим моментом в тех случаях, когда относительное напряжение в процессе длительного нагружения не превышает 0,6—0,7, не влияет отрицательно на прочность бетона при кручении. В случае более высоких напряжений длительное кручение приводит к некоторому понижению прочности бетона на кручение. Так, например, при нагружении бетона относительным напряжением 0,9 это понижение прочности составляет 20%.

9. Длительное нагружение бетона крутящим моментом качественно и количественно влияет на его деформации кручения. В том случае, когда относительное напряжение в бетоне в момент длительного нагружения не превышает 0,75, последующие деформации бетона при кратковременных испытаниях уменьшаются, а при более высоких напряжениях — увеличиваются. При этом связь между напряжениями и деформациями кручения до определенных напряжений носит линейный характер, а выше — криволинейный. И чем больше относительное напряжение в процессе длительного кручения, тем больше то напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость. При относительном напряжении 0,90 связь между напряжениями и деформациями кручения практически сохраняется до момента разрушения бетона.

Կ. Ս. Կարապետյան

ԲԵՏՈՆԻ ՍՈՂՔԸ ՈԼՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հորվածում ընդամենը են բետոնի ամրության և զեֆորմացիոն հատկությունների վրա ժամանակի գործոնի ազդեցության ուսումնասիրությունների արդյունքները:

Պարզված է, որ լարումների և առաձգա-ակնթարթային զեֆորմացիաների, ինչպես նաև լարումների ու սողքի զեֆորմացիաների միջև կրթած կապը ուղղման զեպքում (մինչև 0,9 հարաբերական լարումների ժամանակ) արտահայտվում է գծային օրենքով:

Յուրջ է արված նաև, որ միևնույն լարումների զեպքում սողքի ուղղման և ձգման զեֆորմացիաները հախաաար են: Ելնելով վերահիշյալից, հեզի-նակը գտնում է, որ սողքի ձգման զեֆորմացիաները նպաստակահարար է որոշիչ ուղղման փորձերից:

Բետոնի հարատև ուղղումը որոշակի ազդեցություն է գործում նրա հետազո ամրության և զեֆորմացիոն հատկությունների վրա՝ ուղղման զեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, М.—Л., 1952.
2. Блинков В. В. Исследование деформаций бетона при чистом сдвиге. Изв. ВНИИГ, 53, 1955.
3. Васильев П. И. Некоторые вопросы пластических деформаций бетона. Изв. ВНИИГ, 48, 1953.
4. Карапетян К. С. Ползучесть бетона при высоких напряжениях. Изв. АН АрмССР. сер. физ.-мат., ест. и техн. наук, 6, № 2, 1953.
5. Карапетян К. С. Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., ест. и техн. наук, 9, № 1, 1956.
6. Карапетян К. С. Экспериментальное исследование ползучести легкого бетона на естественных пористых заполнителях. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Ереван, 1956.
7. Карапетян К. С. Влияние старения бетона на зависимость между напряжениями и деформациями ползучести. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 12, № 4, 1959.
8. Катик Н. И. Исследование ползучести бетона при высоких напряжениях. Сборник НИИЖБ, «Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций», Гостройиздат, М., 1959.
9. Саталкин А. В. Ползучесть бетона. Сборник «Прочность, упругость и ползучесть бетона» под ред. проф. Белвева. Стройиздат Наркомстроя, Л., 1941.
10. Саталкин А. В., Сеңченко Б. А. Раннее нагружение бетона и железобетона в мостостроении. Автотрансиздат, М., 1956.
11. Столяров Я. В. Введение в теорию железобетона. Стройиздат Наркомстроя, М.—Л., 1941.
12. Улицкий И. И. Ползучесть бетона. Гостехиздат Украины, Киев—Львов, 1948.
13. Улицкий И. И. Расчет железобетонных конструкций с учетом длительных процессов. Гостройиздат, УССР, Киев, 1960.
14. Фрейдлин Э. Переворот в технике бетона. ОНТИ, Л.-М., 1938.