

К. С. КАРАПЕТЯН, Р. А. КОТИКЯН

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА БЕТОНА НА ПРОЧНОСТЬ И
ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРИ СЛОЖНО-НАПРЯЖЕННОМ
СОСТОЯНИИ

В работе [2] были приведены результаты исследования прочности и деформативности бетона при двух видах сложно-напряженных состояний. При этом была установлена возможность перехода от простого напряженного состояния к сложно-напряженному состоянию.

Настоящая работа посвящена исследованию прочности и деформативности бетона при сложно-напряженном состоянии — сжатии с последующим кручением в зависимости от одного важного фактора — возраста бетона к моменту испытания.

Испытывались полые цилиндрические образцы с наружным диаметром 20,4 см, толщиной стенок 2 см, длиной 80 см. Образцы были изготовлены из мелкозернистого бетона на кварцевом песке и пуццолановом портландцементе Араратского завода (г. Ереван) марки 400.

Всего было приготовлено пять замесов бетона и из каждого замеса 18 цилиндрических образцов, а также соответствующее количество кубиков размерами $10 \times 10 \times 10$ см. Приготовление бетона производилось вручную, а уплотнение — на виброплощадке при продолжительности вибрации 60 секунд. Образцы бетонировались в металлических разборных формах и освобождались от них через 48 часов.

Таблица 1

Номер замеса	Состав бетона по весу	Расход материалов на 1 м ³ бетона			γ_b в т/м ³	R_b в кг/см ²
		цемент	песок	вода		
1	1:2,24	593	1328	330	2,25	128
2	1:2,24	593	1328	330	2,25	164
3	1:2,24	606	1357	337	2,30	201
4	1:2,24	606	1357	337	2,30	238
5	1:2,24	606	1357	337	2,30	238

Составы замесов бетона приведены в табл. 1.

Образцы, изготовленные из замесов 1, 2, 3 (см. табл. 1), были испытаны соответственно в возрастах 7, 14 и 28 дней, а образцы из остальных двух замесов — в возрасте 88 дней.

Все образцы хранились в помещении, где температура $T_c = 21 \pm 5^\circ \text{C}$, а относительная влажность $P = 70 \pm 15\%$.

При испытании на сложно-напряженное состояние сначала каждый образец загружался определенной постоянной сжимающей нагрузкой, а затем доводился до разрушения кручением. Сжимающая нагрузка и крутящий момент повышались ступенями и после каждой ступени измерялись деформации сжатия и кручения.

Помимо этих испытаний, для определения прочности бетона на сжатие ($R_{сж}$) и на кручение ($R_{кр}$), а также деформаций испытывались образцы как на чистое сжатие, так и на чистое кручение.

Более детально методика исследования приведена в работе [2].

В табл. 2 приведены прочностные показатели опытных образцов на чистое сжатие и на чистое кручение в зависимости от возраста бетона.

Таблица 2

Прочность в кг/см ²	Возраст бетона в днях			
	7	14	28	88
$R_{сж}$	108	120	133	125
$R_{кр}$	6,15	12,25	12,25	11,90

Испытания кубиков, приготовленных из всех пяти замесов в 28-дневном возрасте, показали, что их прочности практически равны. Это обстоятельство весьма важно для правильного обобщения результатов опытов.

При испытаниях на сложно-напряженное состояние — сжатие с последующим кручением величины начальных сжимающих нагрузок составляли 2000 кг, 4000 кг, 6000 кг, 8000 кг и 8500 кг. Величины относительных напряжений от данных нагрузок при различных возрастах бетона приведены в табл. 3.

Таблица 3

Возраст бетона в днях	Величины относительных напряжений от начальных сжимающих нагрузок				
	2000 кг	4000 кг	6000 кг	8000 кг	8500 кг
7	0,16	0,32	0,48	—	0,68
14	0,144	0,288	0,433	0,577	—
28	0,130	0,260	0,390	0,52	—
88	0,138	0,277	0,415	0,554	—

Интенсивности напряжений и деформаций при сложно-напряженном состоянии (осевое сжатие с последующим кручением) определялись по формулам [1, стр. 295]:

$$\sigma_l = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + 3\tau_{xz}^2}, \quad (1)$$

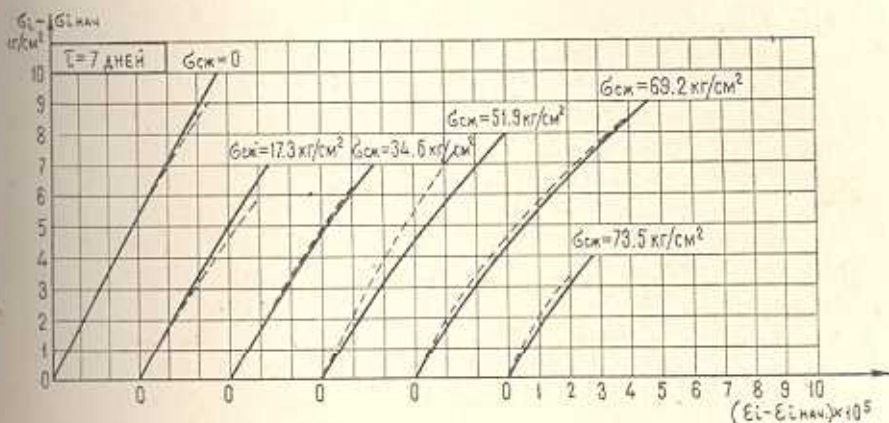
$$\varepsilon_l = \frac{2}{3} \sqrt{\varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{yy}^2 - \varepsilon_{xx}\varepsilon_{yy} + \frac{3}{4}\tau_{xz}^2}, \quad (2)$$

где

$$\tau_{xz} = \frac{M}{J_p} r, \quad J_p = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4).$$

Здесь D и d — наружный и внутренний диаметры образца, а r — средний радиус. Касательное напряжение τ_{xz} определялось на наружной поверхности образца.

На фиг. 1, 2, 3 и 4 приведены экспериментальные кривые интенсивностей напряжений и деформаций чистого кручения и сжатия с кручением, соответствующих второму этапу загрузки, для различных возрастов бетона.



Фиг. 1.

Для описания кривых интенсивность напряжений — интенсивность деформаций чистого кручения принята зависимость следующего вида [1]

$$\varepsilon_l = A \tau_l + B \tau_l^n, \quad (3)$$

где A , B и n — параметры, определяемые из опыта.

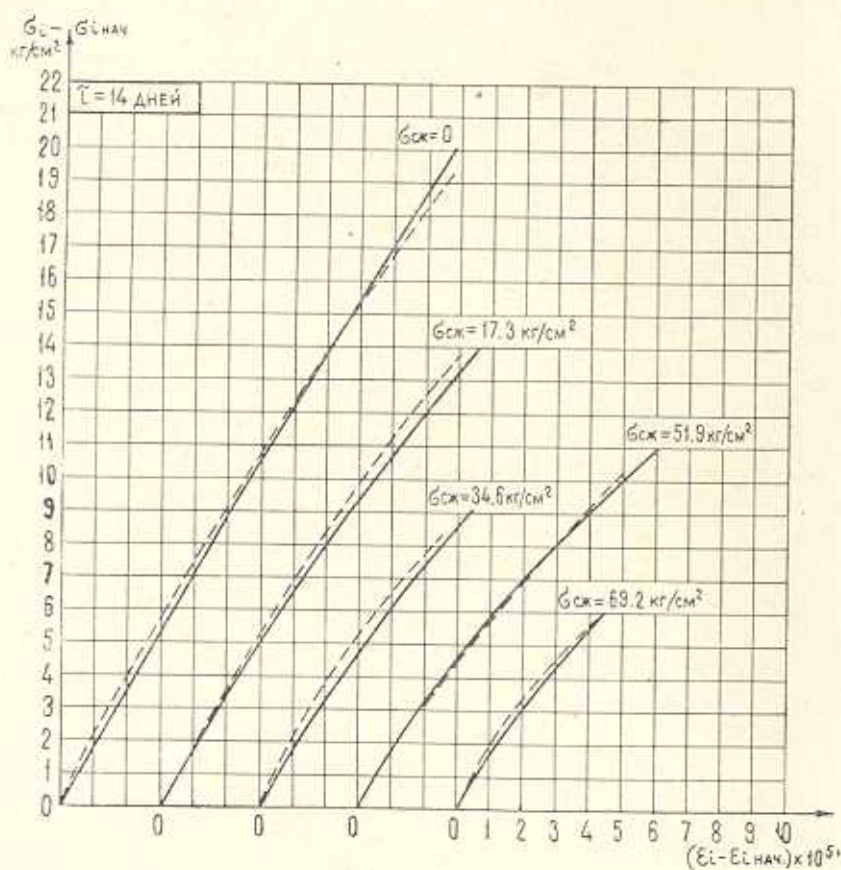
В результате описания кривой интенсивностей деформаций чистого кручения была получена зависимость

$$10^5 \varepsilon_l = 0,55 \tau_l + 20 \times 10^{-4} \tau_l^2. \quad (4)$$

Однако, как показали исследования, формула (4) в таком виде, в каком она есть, не может удовлетворительно описать зависимость «интенсивность напряжений — интенсивность деформаций» сложного напряженного состояния бетона — сжатие с последующим кручением, так как его характер в большой мере зависит от величины начальной сжи-

мающей нагрузки. С увеличением сжимающей нагрузки кривизна кривой интенсивностей деформаций увеличивается.

Учитывая это обстоятельство, пришлось в зависимости (3) коэффициент B принять переменным, зависящим от величины сжимающей



Фиг. 2.

нагрузки. При этом было установлено, что связь между коэффициентом B и сжимающей нагрузкой имеет линейный характер (фиг. 5) и может быть представлена в следующем виде:

$$B = (20 + 4,43 \sigma_{сж}) \cdot 10^{-1}. \quad (5)$$

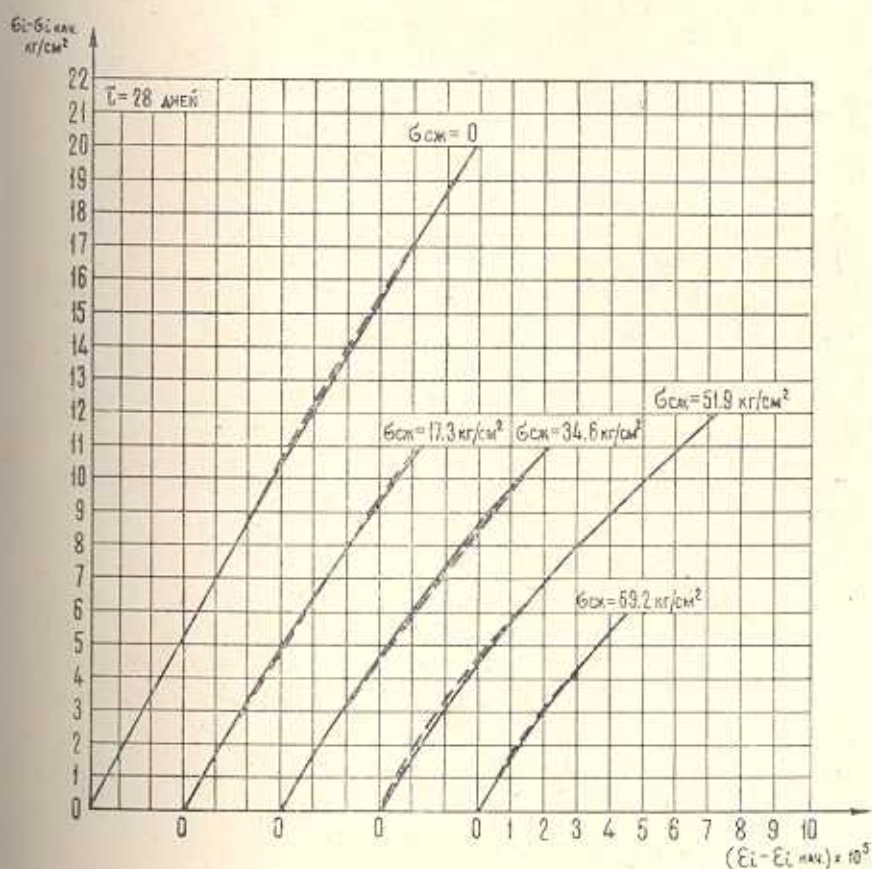
Тогда, для описания кривых „интенсивность напряжений — интенсивность деформаций“ при сложно-напряженном состоянии получается следующая зависимость:

$$10^6 \varepsilon_i - \varepsilon_{i,нач} = 0,55 \sigma_i + (20 + 4,43 \sigma_{сж}) (\sigma_i - \sigma_{сж})^2 \cdot 10^{-1}. \quad (6)$$

В частном случае, когда $\sigma_{сж} = 0$, получается формула (4), которая соответствует случаю чистого сжатия.

На фиг. 1, 2, 3 и 4 пунктиром показаны экспериментальные кривые деформаций, которые соответствуют средним значениям деформаций трех (иногда двух) образцов для каждого вида испытания. На этих же графиках сплошными линиями нанесены кривые, построенные по формуле (6), которая дает хорошее совпадение с опытными данными.

В табл. 4 приведены прочностные показатели бетонных образцов при сложно-напряженном состоянии на кручение в зависимости от величины начального сжимающего напряжения $\sigma_{сж}$ при разных возрастах бетона.



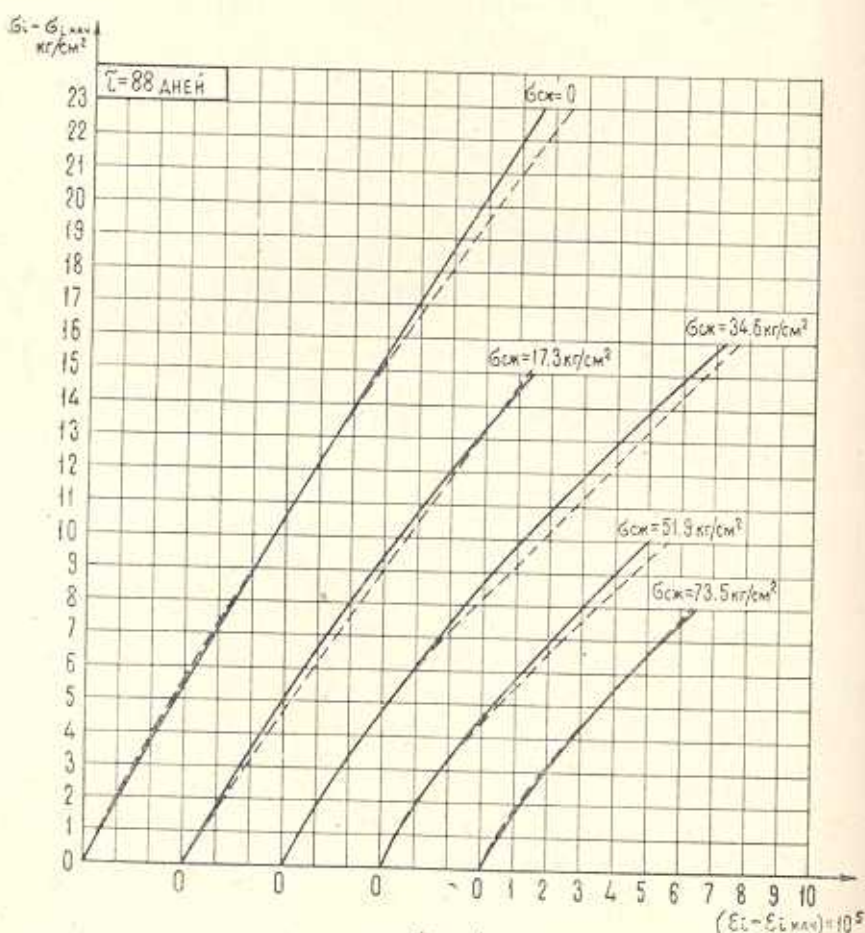
Фиг. 3.

Как видно из табл. 4, при сложно-напряженном состоянии увеличение начального сжимающего напряжения до определенного предела приводит к увеличению прочности бетона на кручение. Однако, при дальнейшем увеличении сжимающей нагрузки наблюдается обратное явление.

Указанное явление весьма закономерно и объясняется тем, что до определенного сжимающего напряжения с увеличением последнего сопротивляемость бетонного образца кручению увеличивается. Однако,

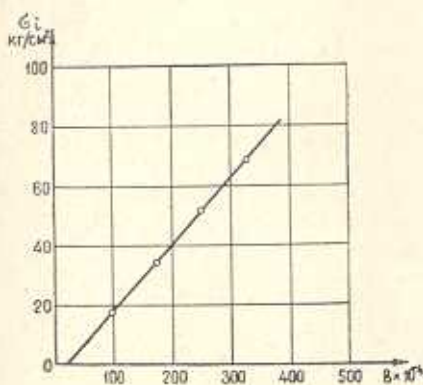
Таблица 4

$\tau_{гг}$ в кг/см ²	Предел прочности бетона на кручение в кг/см ² при возрасте бетона к моменту испытания			
	7 дней	14 дней	28 дней	88 дней
0	6,15	12,25	12,25	11,90
17,3	9,45	15,85	13,65	14,05
34,6	14,20	17,05	17,25	18,20
51,9	16,55	19,50	21,15	19,30
69,2	20,05	16,70	18,90	17,35
73,5	13,90	—	—	—

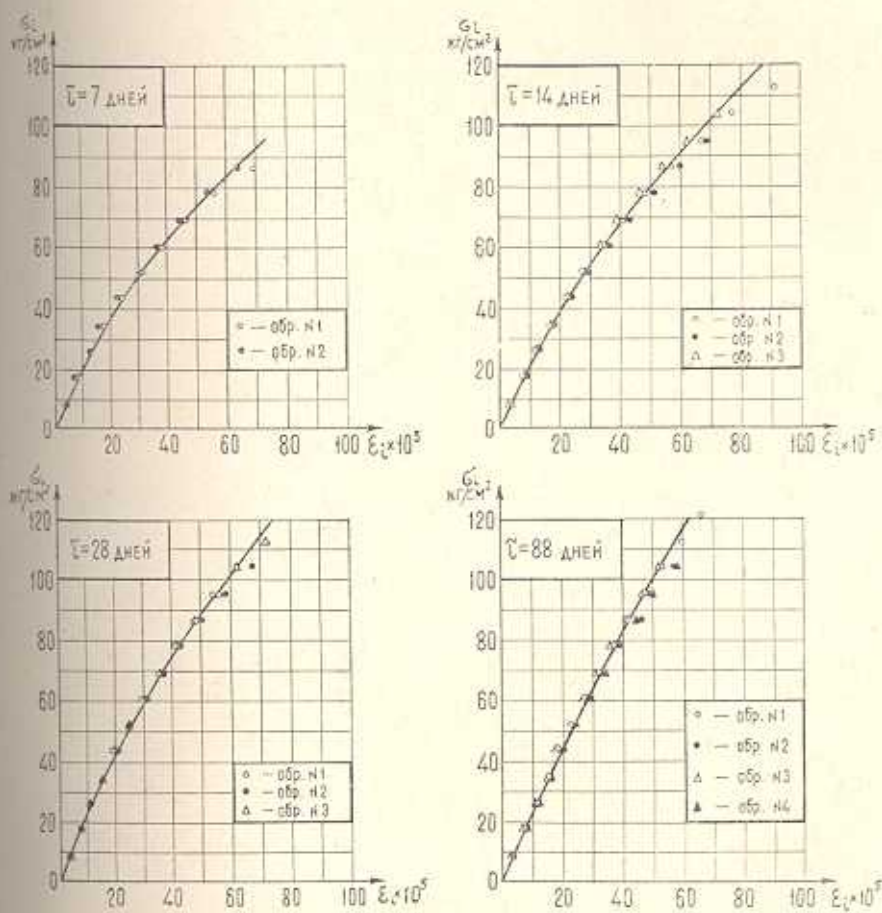


Фиг. 4.

как только наступает то предельное напряжение, при котором в бетоне начинают образовываться и развиваться микротрещины, дальнейшее увеличение сжимающей нагрузки приводит к уменьшению сопротивляемости бетона кручению и, тем самым, к падению прочности на кручение.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

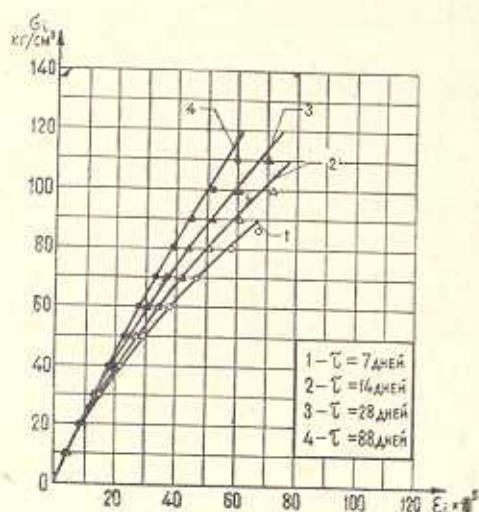
На фиг. 6 приведены кривые интенсивностей деформаций при чистом сжатии для различных возрастов бетона к моменту испытания, построенные по формуле

$$10^5 \varepsilon_t = 0,42 \varepsilon_t + \left(3 + \frac{560}{10 + \tau} \right) \varepsilon_t^2 \cdot 10^{-4}. \quad (7)$$

Как видно из фиг. 6, зависимость (7) удовлетворительно описывает опытные данные.

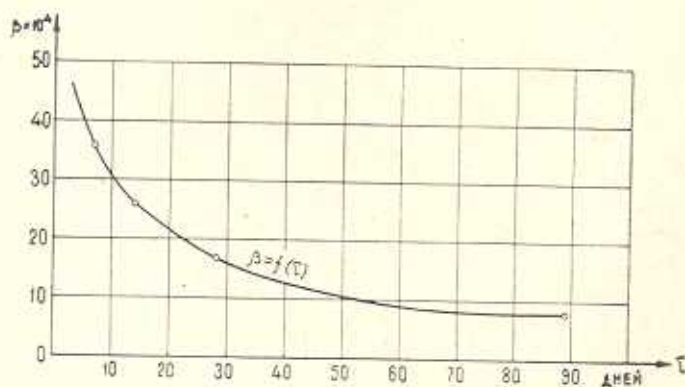
Кривая изменения коэффициента β , который учитывает влияние возраста бетона, приведена на фиг. 7

$$\beta = \left(3 + \frac{560}{10 + \tau} \right) 10^{-4}. \quad (8)$$



Фиг. 7.

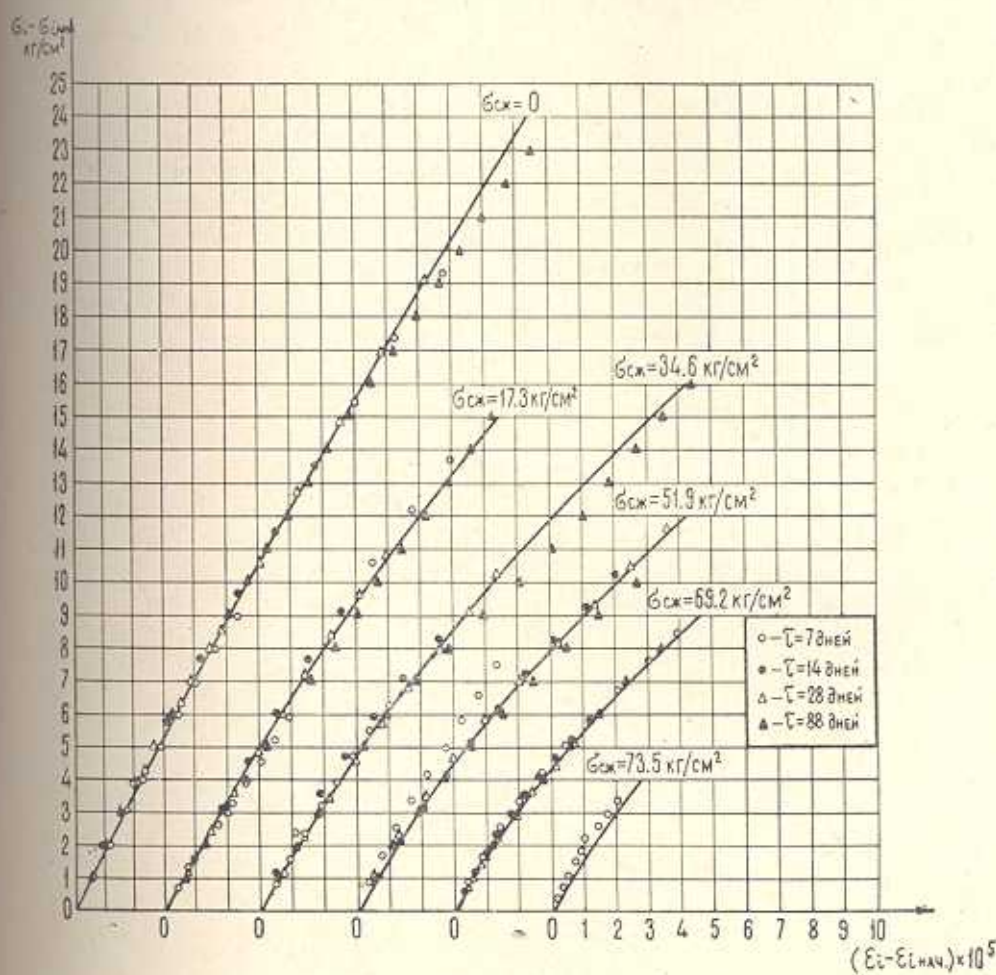
Более наглядно влияние возраста бетона на интенсивность деформаций при чистом сжатии видно из фиг. 8.



Фиг. 8.

На фиг. 9 представлены кривые интенсивностей деформаций полых цилиндрических образцов как при чистом кручении, так и при

сложно-напряженном состоянии — сжатию с последующим кручением при различном возрасте бетона к моменту испытания, построенные по формуле (6). Как видим, при сложно-напряженном состоянии зависимость $(\sigma_i - \bar{\sigma}_i)$ бетонного тонкостенного цилиндрического образца (здесь слово „тонкостенного“ должно пониматься в относительном смысле,



Фиг. 9.

так как фактически испытываемые нами образцы не являются тонкостенными оболочками, поскольку $\frac{h}{D} \approx 0,098$), по данным этих опытов, не зависит от возраста бетона к моменту испытания, и формула (6) достаточно хорошо описывает все опытные данные.

В ы в о д ы

1. При испытании полых цилиндрических бетонных образцов на сложно-напряженное состояние — осевое сжатие с последующим кручением с увеличением сжимающей нагрузки до определенного предела прочность бетона на кручение увеличивается, а с дальнейшим увеличением сжимающей нагрузки — уменьшается. Уменьшение прочности бетона на кручение после критической сжимающей нагрузки является следствием того, что при этом в бетоне образуются и развиваются микротрещины, отрицательное влияние которых возрастает с повышением сжимающей нагрузки.

2. В случае одинаковой начальной сжимающей нагрузки прочность бетона на кручение при сложно-напряженном состоянии — сжатии с последующим кручением в большой мере зависит от возраста бетона к моменту испытания. Чем больше возраст бетона, тем больше прочность.

3. Возраст бетона к моменту испытания не оказывает влияния на интенсивность деформаций бетона при чистом кручении.

4. Возраст бетона оказывает существенное влияние на зависимость интенсивность напряжений — интенсивность деформаций при чистом сжатии. С увеличением возраста интенсивность деформаций уменьшается.

5. Интенсивность деформаций бетона при сложно-напряженном состоянии — сжатии с последующим кручением в большой мере зависит от величины начальной сжимающей нагрузки. С увеличением сжимающей нагрузки интенсивность деформаций возрастает.

6. Возраст бетона к моменту испытания, большему 7 дней, не оказывает влияния на интенсивность деформаций бетона при сложно-напряженном состоянии — сжатии с последующим кручением.

Институт математики и механики

АН Армянской ССР

Поступила 17 I 1966

Կ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ռ. Ա. ԿՈՏԻԿՅԱՆ

ՀԱՍԱԿԻ ԱՉԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԵՏՈՆԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԵՅՈՐԲԱՅԻՆ
ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ԲԱՐԿ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ներկա աշխատանքը նվիրված է բետոնի ամրության և զեֆորմացիոն հատկությունների հետազոտությանը, բարդ լարվածային վիճակում, կախված բևանափորման մոմենտում բետոնի հասակից:

Ինչպես ցույց են տվել հետազոտությունները սեղմում-ոլորում բարդ լարվածային վիճակում բետոնի ոլորման ամրությունը էապես կախված է սկզբնական սեղմող ուժից: Մինչև մի որոշակի սահման, նախնական սեղմումը

մեծացնում է բետոնի ամրությունը ոլորման զեպքում, որից հետո սեղմող լարման հետագա մեծացումը բացասաբար է ազդում բետոնի ոլորման ամրության վրա:

Հավասար նախնական սեղմող լարումների զեպքում բետոնի ամրությունը ոլորման զեպքում մեծ չափով կախված է բեռնալորման մոմենտում բետոնի հասակից: Որքան մեծ է բետոնի հասակը, այնքան մեծ է ամրությունը:

Մաքուր ոլորման զեպքում, բեռնալորման մոմենտում բետոնի հասակը չի ազդում զեֆորմացիաների ինտենսիվությունների վրա: Ի տարբերություն մաքուր ոլորում պարզ լարվածային վիճակի, առանցքային սեղմում պարզ լարվածային վիճակի զեպքում զեֆորմացիաների ինտենսիվության վրա էական ազդում է բետոնի հասակը: Որքան մեծ է հասակը, այնքան փոքր է զեֆորմացիաների ինտենսիվությունը:

Սեղմում-ոլորում բարդ լարվածային վիճակում զեֆորմացիաների ինտենսիվությունը կախված է սկզբնական սեղմող ուժից: Որքան մեծ է լարումը, այնքան մեծ է զեֆորմացիաների ինտենսիվությունը:

Բեռնալորման մոմենտում բետոնի հասակը չի ազդում զեֆորմացիաների ինտենսիվությունների վրա սեղմում-ոլորում բարդ լարվածային վիճակում:

K. S. KARAPETIAN, R. A. KOTIKIAN

THE INFLUENCE OF AGE ON THE STABILITY AND DEFORMATION PROPERTY IN COMPOUND STRESS STATE

Summary

The investigations in the present paper show that at compression with torsion in compound stress state, the stability of concrete at torsion depends largely on the primary compression stress.

With the increase of compression force to a certain limit the stability of concrete at torsion increases, whereas with further increase of compression force the former decreases.

The age of concrete at the moment of the test does not effect the dependence of intensity of stress — intensity of deformation at pure torsion and compression with torsion of the stress state, but rather the age of concrete effects the above mentioned at pure compression. In the latter case the intensity of deformation decreases with the increase of age.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюкян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, М. -Л., 1952.
2. Карпетян К. С., Котикян Р. А. Исследование прочности и деформативности бетона при сложно-напряженном состоянии. ДАН АрмССР, т. XXXIX, № 4, 1964.