



ЯКОСТ НА ОГРАНИЧЕН БЕТОН

Димитър Хубчев
dhubchev@vtu.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул. “Гео Милев” № 158, София 1574
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: ограничен бетон, ефективна зависимост напрежения-деформации на бетона, напречно разширяване на бетона.

Резюме: Ограничаването на напречните деформации на бетона води до изменение на ефективната зависимост между напреженията и деформациите: достига се по-висока якост и по-големи гранични относителни деформации.

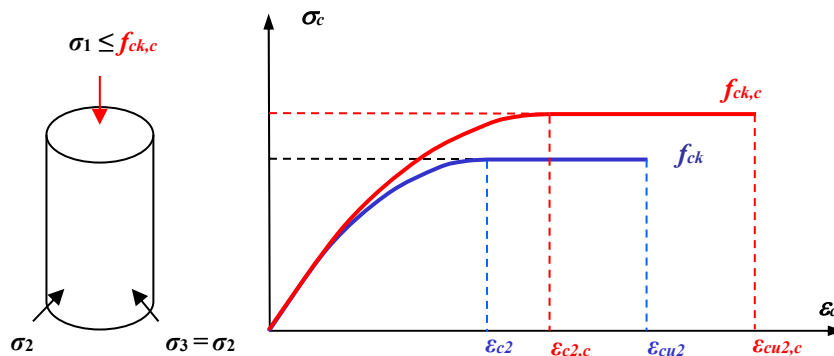
Способността за развитие на по-големи надлъжни деформации при стоманобетонни елементи от ограничен бетон намалява опасността от крехкото им разрушаване.

Ограничаването на напречното деформиране може да се създаде посредством подходящи затворени стремена или напречни връзки, които достигат пластично състояние вследствие напречното разширяване на бетона.

Ограниченият бетон се прилага за увеличаване на носещата способност на натиснати стоманобетонни елементи или на натисковата зона при елементи, работещи на огъване.

1. Състояние на проблема.

Съгласно [1] ограничаването на напречните деформации води до изменение на ефективната зависимост напрежения-деформации. Достигат се по-големи гранични деформации и по-висока якост, които могат да се определят по следните изрази (фиг. 1):



фиг.1 Зависимост напрежения-деформации за ограничен бетон

$$(1) \quad \varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \left(f_{ck,c} / f_{ck} \right)^2;$$

$$(2) \quad \varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0,2 \sigma_2 / f_{ck};$$

$$(3) \quad f_{ck,c} = f_{ck} \left(1,0 + 5,0 \sigma_2 / f_{ck} \right) \quad \text{за } \sigma_2 \leq 0,05 f_{ck};$$

$$(4) \quad f_{ck,c} = f_{ck} \left(1,125 + 2,5 \sigma_2 / f_{ck} \right) \quad \text{за } \sigma_2 > 0,05 f_{ck},$$

където:

- ε_{c2} е деформацията на бетона при достигане на максималната якост на натиск; за бетони с клас по якост до C50/60 $\varepsilon_{c2} = 2\text{‰}$;
- ε_{cu2} е граничната деформацията; за бетони с клас по якост до C50/60 $\varepsilon_{cu2} = 3,5\text{‰}$;
- σ ($=\sigma_3$) е напрежението на натиск в напречно направление при крайно гранично състояние, дължащо се на ограничаване на напречните деформации.

В таблица 1 са дадени изчислените по изрази (1) и (2) по-високи стойности на деформациите при клас по якост на бетона до C50/60 и завишаването на якостите, изчислени по изрази (3) до (4) при напрежението на натиск в напречно направление до $0,15 f_{ck}$.

Таблица 1 Деформации и нарастване на якостта на ограничен бетон

σ_2 / f_{ck}	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15
$\varepsilon_{c2,c}$ [‰]	2,205	2,420	3,125	3,781	4,500
$\varepsilon_{cu2,c}$ [‰]	5,50	7,50	13,50	23,50	33,50
$f_{ck,c} / f_{ck}$	1,050	1,100	1,250	1,375	1,500

Големите надлъжни деформации водят до напукване на бетона извън периметъра на стремената, в резултат на което остава да работи със завишена якост на натиск само тази част от напречното сечение на бетона, която е затворена вътре в стремената. Бетонът, който остава извън стремената се изключва от работа. Това означава, че ефектът от армирането с носещата напречна армировка ще е значителен при елементи с по-големи напречни сечения, при които отношението на площта на напречното сечение на бетона, който се намира извън стремената към общата площ на напречното сечение е сравнително малко.

Ограничаването на напречното деформиране може да се създаде посредством подходящи затворени стремена, които достигат пластично състояние вследствие на напречното разширение на бетона. В [2] са разгледани случаите, в които ограничаването на напречното деформиране се създава чрез спирална армировка (за елементи с кръгло или многоъгълно напречно сечение) или чрез заварени мрежи. Целта на настоящата публикация е да се изведат изрази за връзката между напреженията на натиск в напречно направление и количеството на напречната армировка. Разгледани са отделно случаите със спирална напречна армировка и напречна армировка от заварени мрежи.

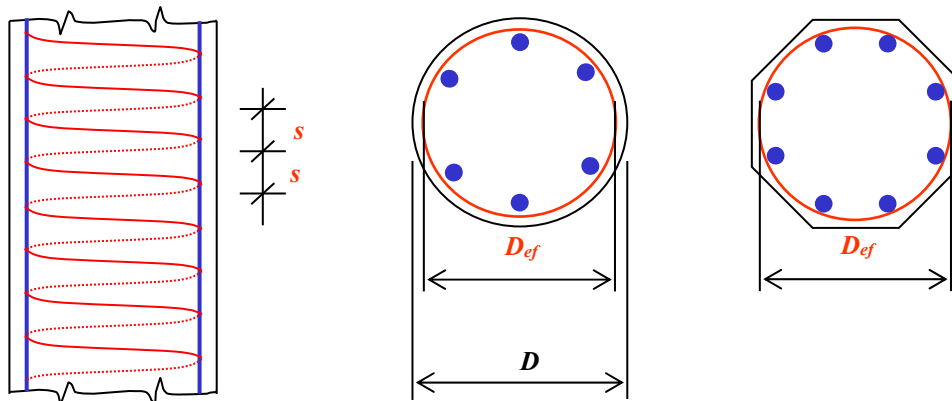
2. Елементи със спирална напречна армировка.

Напреженията на натиск в напречно направление се създават в резултат на опънните усилия в спиралната армировка и могат да се определят от израза:

$$(5) \quad \sigma_2 = \frac{2N_{s,cir}}{s D_{ef}},$$

където:

- $N_{s,cir}$ е опънното усилие в спиралната армировка;
- s е ходът на спиралата;
- D_{ef} е диаметърът на спиралата.



фиг.2 Елемент със спирална напречна армировка

Когато спиралната армировка достигне пластично състояние, опънното усилие в нея ще бъде:

$$(6) \quad N_{s,cir} = A_{s,cir} f_{yd},$$

където:

- $A_{s,cir}$ е площта на напречното сечение на спиралната армировка;
- f_{yd} е изчислителната граница на провлачане на армировката.

След заместване на (6) в (5) се получава

$$(5a) \quad \sigma_2 = \frac{2A_{s,cir}f_{yd}}{sD_{ef}} = \rho_{cir} \frac{f_{yd}}{2},$$

където ρ_{cir} е коефициентът на армиране на спиралната армировка:

$$(6) \quad \rho_{cir} = \frac{4A_{s,cir}}{sD_{ef}}.$$

В [1] не са дадени специални изисквания за минимално количество на напречната армировка. В [2] се изисква $D_{ef} \geq 200 \text{ mm}$, $s \leq \min\{D/5; 100 \text{ mm}\}$ и $s \geq 40 \text{ mm}$.

Пример 1

Да се определи нарастването на носещата способност на бетона на колони от бетон клас C30/37 с кръгло напречно сечение при армиране със спирална армировка $\phi 10$ (клас B500) с ход на спиралата $s = 60 \text{ mm}$.

Данните за колоните и резултатите са дадени в таблица 2.

Таблица 2 Данни и резултати от решението на пример 1.

№ на колоната	D	D_{ef}	$A_{s,cir}$	s	ρ_{cir}	σ_2	f_{ck}	$f_{ck,c}$	N_{Rd}	$N_{Rd,c}$	δ
	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[kN]	[%]
К1	300	250	78,5	60	2,09	4,50	30	45,0	1202	1252	4,2
К2	500	450	78,5	60	1,16	2,50	30	40,0	3338	3605	8,0
К3	800	750	78,5	60	0,70	1,50	30	37,5	8545	9388	9,9

Носимоспособността на бетона при колони без спирална армировка е:

$$N_{Rd} = \frac{\pi D^2}{4} f_{cd}, \text{ където } f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 f_{ck}}{1,5}.$$

Носимоспособността на бетона при колони със спирална армировка е:

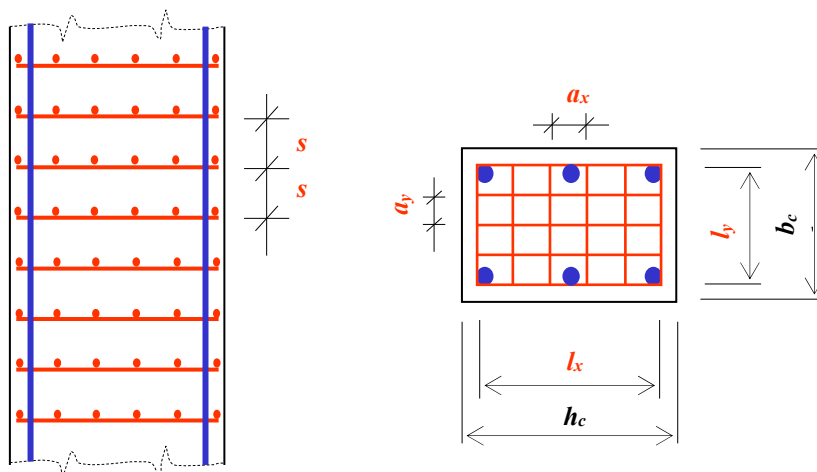
$$N_{Rd,c} = \frac{\pi D_{ef}^2}{4} f_{cd,c}, \text{ където } f_{cd,c} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck,c}}{\gamma_c} = \frac{0,85 f_{ck,c}}{1,5}.$$

Относителното нарастване на носимоспособността е:

$$\delta = \frac{N_{Rd,c} - N_{Rd}}{N_{Rd}}.$$

От резултатите се вижда, че при колоната с най-малко напречно сечение (K1) нарастването на якостта на бетона $f_{ck,c}$ е най-голямо (от 30 на 45MPa), но относителното нарастване на носимоспособността на бетона δ е най-малко – само с 4,2%. Това е така, защото при тази колона е най-голямо отношението на изключващата се от работа площ на бетона извън стремената (бетоновото покритие) към брутната площ на напречното сечение.

3. Елементи с напречна армировка от заварени мрежи.



фиг.3 Елементи с напречна армировка от заварени мрежи.

Напреженията на натиск в напречно направление се създават в резултат на опънните усилия в напречната армировка и могат да се определят от израза:

$$(7) \quad \sigma_2 = \frac{N_s}{s a_i} = \frac{A_s f_{yd}}{s a_i} = \rho f_{yd},$$

където:

- N_s е опънното усилие в прът от заварената мрежа;
- s е разстоянието между заварените мрежи;
- a_i е разстоянието между прътите в една заварена мрежа;
- A_s е площта на напречното сечение на прът от заварената мрежа;
- ρ е коефициентът на армиране на заварените мрежи:

$$(8) \quad \rho = \frac{A_s}{s a_i};$$

За армировката на заварените мрежи в [2] са въведени следните изисквания:

- $50 \text{ mm} \leq a_i \leq \min\{b_c/4; 100 \text{ mm}\}$;
- $60 \text{ mm} \leq s \leq \min\{b_c/3; 150 \text{ mm}\}$,

където b_c е по-малкият размер на напречното сечение на колоната.

Пример 2

Да се определи носещата способност на бетона на правоъгълна колона, армирана със заварени мрежи от армировка $\phi 8$ (клас В500) при следните данни:

- клас на бетона С30/37;
- размери на напречното сечение $b_c / h_c = 400 / 600 \text{ mm}$;
- размери на мрежите $l_x / l_y = 350 / 550 \text{ mm}$;
- разстоянието между прътите в една заварена мрежа $a_i = 50 \text{ mm}$;
- разстояние между мрежите $s = 60 \text{ mm}$.

Напрежението на натиск на бетона в напречно направление е:

$$\sigma_2 = \frac{A_s f_{yd}}{s a_i} = \frac{50,3 \cdot 430}{60 \cdot 50} = 7,21 \text{ MPa} > 0,05 f_{ck}.$$

Завишената якост на бетона, затворен в мрежите е

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1,125 + 2,5 \sigma_2 / f_{ck}) = 30 (1,125 + 2,5 \cdot 7,21 / 30) = 51,8 \text{ MPa}.$$

Носимоспособността на бетона при армиране без заварени мрежи е:

$$N_{Rd} = b_c h_c f_{cd} = 400 \cdot 600 \frac{0,85 \cdot 30}{1,5} = 4,08 \cdot 10^6 \text{ N}.$$

Носимоспособността на бетона при колони със заварени мрежи е:

$$N_{Rd,c} = l_x l_y f_{cd,c} = 350 \cdot 550 \frac{0,85 \cdot 51,8}{1,5} = 5,65 \cdot 10^6 \text{ N}.$$

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. БДС EN 1992-1-1. Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради, 2005.
- [2]. Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции, София, КТСУ, 1988.

STRENGTH OF CONFINED CONCRETE

Dimitar Hubchev

dhubchev@vtu.bg

***Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia 1574,
BULGARIA***

Key words: *confined concrete, effective stress-strain relationship of concrete, lateral extension of the concrete.*

Abstract: *Confinement of concrete results in a modification of the effective stress-strain relationship: higher strength and higher critical strains are achieved.*

The ability to develop larger longitudinal deformations in reinforced concrete elements of confined concrete reduces the danger of their brittle failure.

Confinement can be generated by adequately closed links or cross-ties, which reach the plastic condition due to lateral extension of the concrete.

Confined concrete is applied to increase the load-bearing capacity of reinforced concrete elements working in compression or of the compression zone in elements working in bending.