

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ БАЛОК ІЗ БЕТОНУ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ ЗА ПОХИЛИМИ ПЕРЕРІЗАМИ

Довженко О.О., Качан Т.Ю., Мальована О.О., Борбич В.Ю.

Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка
м. Полтава, Україна

АНОТАЦІЯ: Наведено результати експериментальних досліджень міцності балок із бетону підвищеної міцності за похилими перерізами.

АННОТАЦИЯ: Приведены результаты экспериментальных исследований прочности балок из бетона повышенной прочности в наклонных сечениях.

ABSTRACT: The results of the experimental research of the strength of the high-strength reinforced concrete beams in oblique sections are given.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Балка, бетон підвищеної міцності, похилий переріз.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЗАВДАННЯМИ

За останні роки, завдяки загальному світовому науково-технічному прогресу, в галузі матеріалознавства й технології виготовлення бетону відбулися значні зміни: його міцність на стиск більш ніж подвоїлась. Це стало можливим у першу чергу завдяки наявності суперпластифікаторів та використанню мікрокремнезему. Домішки дозволяють отримати бетонну суміш з малими W/C, а мікрокремнезем – цементне тісто з низькою пористістю. Переваги високоміцних бетонів беззаперечні. Але при цьому не можна забувати, що зі зростанням міцності бетону на стиск його міцність на розтяг збільшується непропорційно. Крім того для високоміцних бетонів характерний вибуховий характер і зовнішня крихкість руйнування. Діаграми механічного стану бетону, отримані в [2],

свідчать, що спадаюча гілка залежності “ $\sigma_c - \epsilon_c$ ” для високоміцного бетону крутіша, порівняно із бетоном звичайної міцності (рис. 1).

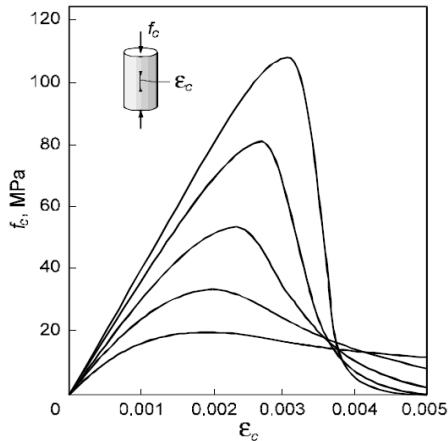


Рис. 1. Залежність « $\sigma_c - \epsilon_c$ » для бетонів різної міцності [2]

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ, В ЯКИХ ЗАПОЧАТКОВАНО РОЗВ’ЯЗАННЯ ДАНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на велику кількість досліджень міцності бетону при зрізі, досі існує розбіжність у розумінні щодо механізмів його руйнування. Запропоновані теорії розрахунку радикально коливаються від простих фермових аналогій до складних нелінійних моделей. Більшість підходів є емпіричними, обмеженими умовами проведених експериментів.

Дослідження міцнісних і деформативних властивостей високоміцних бетонів в Україні майже не виходили за межі випробувань невеликих моделей (в основному призми). Однак, за кордоном відомі експерименти з балками із високоміцного бетону на дію зрізуючих сил, їх результати висвітлені в роботах Mphonde та Frantz [1], Ahmad [2], Nilson та Elzanati [3], Nilson і Slate [4], Kaufman та Ramirez [5]. При випробуванні дослідних зразків без поперечного армування змінними параметрами були міцність бетону ($f_c = 21 \dots 103$ МПа), відносний проліт зрізу ($a/d = 1,5 \dots 3,6$) та коефіцієнт поздовжнього армування ($\rho_s = 0,33 \dots 2\%$).

Метою даної роботи є викладення результатів експериментальних досліджень міцності балок із бетону підвищеної міцності за похилими перерізами.

Дослідні зразки (рис. 2) представляли собою балки прямокутного поперечного перерізу з розмірами $b \times h = 120 \times 180$ мм, довжиною 1500 мм і

мали маркування: Б – вид бетону (ПМ – бетон підвищеної міцності) – склад бетону (1, 2, 3) – а (б, в) (по 3 балки-близнюки для кожного складу). Вони армувалися однаково просторовими каркасами з поздовжньою робочою арматурою 2Ø20 А400С ($\rho_s= 3,5\%$), поперечною – 2Ø6 А240С з кроком 200 мм ($\rho_{sw} = 0,28\%$).

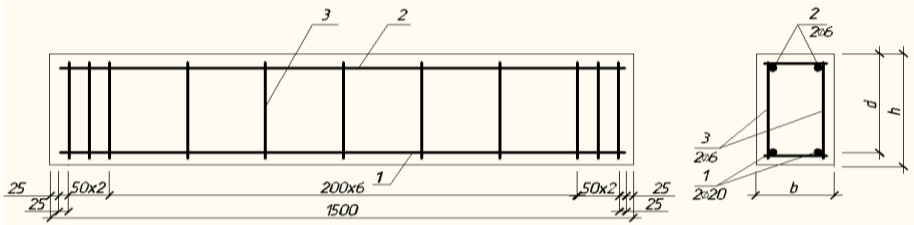


Рис. 2. Геометричні розміри й армування дослідної балки:

- 1 – поздовжня робоча арматура; 2 – конструктивна арматура;
- 3 – поперечна арматура; 4 – з'єднувальні стержні

Серія включала 9 балок із бетону 3-ох складів (табл. 1). Бетонування зразків виконувалося в металевій опалубці в заводських умовах. Технологія виготовлення передбачала використання бетонозмішувача примусової дії та віброплощадки для ущільнення бетонної суміші. Твердіння бетону відбувалося в природніх умовах. Для визначення міцнісних характеристик бетону $f_{cm,cube}$, $f_{cm,prizm}$, f_{cm} виготовлялися стандартні куби і призми.

Таблиця 1

Склад бетонної суміші для виготовлення дослідних зразків

На 1м ³	1	2	3
Пісок, кг	596	590	583
Щебінь 3-10, кг	1226	1215	1199
Цемент М500, кг	490	500	520
Пластифікатор "Sika-Plast 2508", л	5,88	6,5	7,8
Мікрокремнезем "Sika-Fume", кг	24,5	35	52
Вода, л	147	145	140

Випробування дослідних зразків виконувалися у випробувальній установці лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ за схемою дії "чистого" згину (рис. 3), відносний проліт зрізу при цьому $a/d = 2,3$.

Навантаження балки здійснювалося ступенями (8-10 ступенів) від руйнівного, попередньо підрахованого за [6].



Рис. 3. Балка Б-ПМ-2-а у випробувальній установці

Деформації бетону й арматури вимірювалися за допомогою тензорезисторів опору типу ПКБ базою 20 (30) мм та 5 мм відповідно, розташованих у місці можливого руйнування (у площині похилого перерізу) (рис. 4).

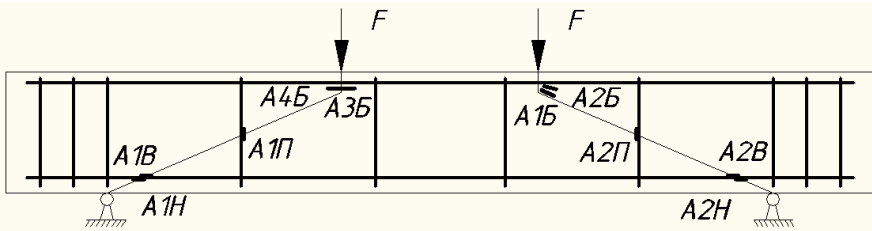


Рис. 4. Принципова схема розташування тензорезисторів на арматурі та бетоні (грань А)

У всіх балках при рівні навантаження $V/V_u \approx 0,4$ першими утворювалися нормальні тріщини в середній третині прольоту балок. На наступних етапах навантаження ширина їх розкриття збільшувалася, з'являлися похилі тріщини (при $V/V_u \approx 0,55$). Руйнування балок відбувалося шляхом зрізу стиснутої зони над небезпечною похилою тріщиною (рис. 5). Мало місце переміщення окремих блоків вздовж поверхні руйнування, котре реалізується лише за наявності на ній непружних деформацій. Умови для локалізації пластичних деформацій створюються завдяки досягненню напруженнями в поперечній арматурі межі текучості при рівні навантаження $0,8V_u$ та подальшому перерозподілу зусиль з одночасною реалізацією граничного стану в хомутах і найбільш напруженій області

стиснутої зони бетону біля площини зсуву. При витримці на останній ступені навантаження чи його падінні (заграничний стан) руйнування супроводжується роздробленням бетону та суттєвим згином поздовжньої арматури в місці перетину похилою тріщиною, що свідчить про наявність нагельного ефекту. Граничні прогини балок в середньому склали 10...13 мм. Результати експериментальних досліджень представлено в табл. 2.

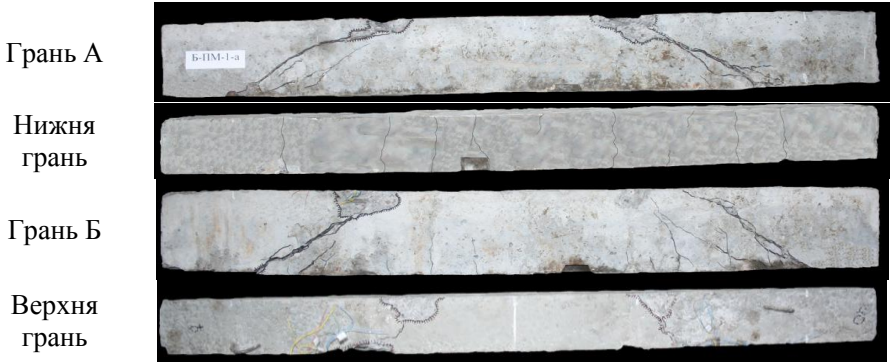


Рис. 5. Характер руйнування дослідної балки Б-ПМ-1-а

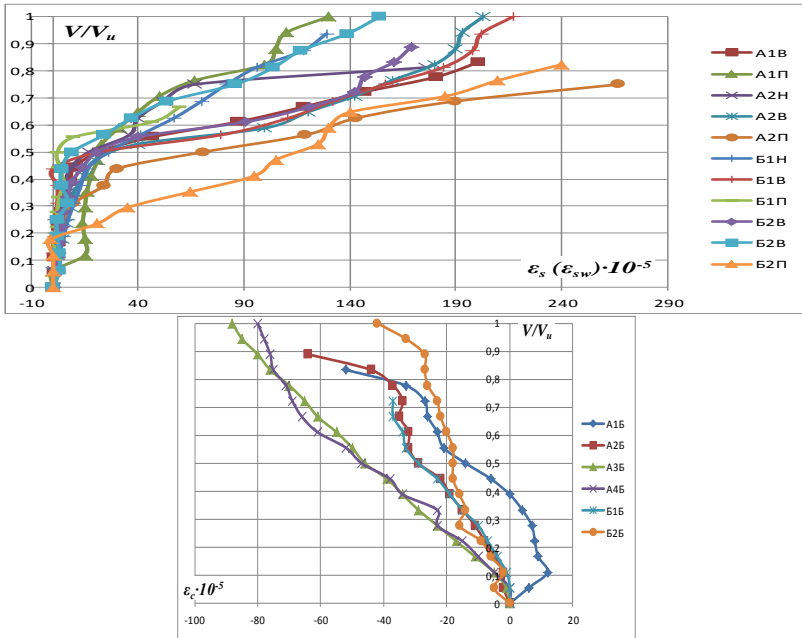


Рис. 6. Графіки відносних деформацій арматури та бетону зразка Б-ПМ-1-а

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Шифр балки	$b \times h$, мм ²	a/d	$f_{cm,prizm}$ МПа	f_{cm} МПа	ρ (%)	f_y МПа	ρ_{sv} (%)	f_{yw} МПа	$F_{срс}$, кН	F_u , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Б-ПМ-1-а	181×119	2,3	46,2	3,2	3,5	457,8	0,28	370	70	180
2	Б-ПМ-1-б	180×125								90	180
3	Б-ПМ-1-в	182×120								70	180
4	Б-ПМ-2-а	180×125		41,03	2,68					60	160
5	Б-ПМ-2-б	181×120								70	160
6	Б-ПМ-2-в	185×121								80	170
7	Б-ПМ-3-а	185×120		48,2	4,2					100	190
8	Б-ПМ-3-б	183×117								80	230
9	Б-ПМ-3-в	180×123								80	190

Виконано порівняння теоретичної міцності балок, підрахованої за СНиП та ДБН, з експериментальною (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння теоретичної та експериментальної міцності балок

№ п/п	Шифр балки	$V_u^{calc, \tilde{N}i}$ кН [6]	$V_u^{calc, AAi}$ кН [7]	V_u^{test} , кН	$\frac{V_u^{calc, \tilde{N}i}}{V_u^{test}}$
1	2	3	4	5	6
1	Б-ПМ-1-а	154,8	31,25	180	0,86
2	Б-ПМ-1-б	158,1	31,05	180	0,878
3	Б-ПМ-1-в	157,4	31,46	180	0,874
4	Б-ПМ-2-а	141,5	31,05	160	0,884
5	Б-ПМ-2-б	139,5	31,25	160	0,872
6	Б-ПМ-2-в	146,2	32,08	170	0,86
7	Б-ПМ-3-а	195,4	32,08	190	1,028
8	Б-ПМ-3-б	187,8	31,67	230	0,817
9	Б-ПМ-3-б	188,1	31,05	190	0,99

За результатами експериментальних досліджень можна зробити наступний висновок: руйнування балок із бетону підвищеної міцності за похилим перерізом відбувається внаслідок зрізу стиснутої зони бетону при досягненні напруженнями в поперечній арматурі межі текучості та наявності непружних деформацій на поверхні зсуву.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mphonde A.G. Shear Tests of high- and low-strength concrete beams without stirrups / Mphonde A.G., Frantz G.C. // *ACI Journal*. – V.81, July-August 1984. - P. 350-357.
2. Ahmad S.H. / Shear capacity of reinforced high-strength concrete beams / Ahmad S.H., Khaloo A.R., Poveda A. // *ACI Journal*. – V. 83. - No 2, March-April 1986. - P. 297-305.
3. Nilson A.H. High strength concrete: an Overview of Cornell Research / Nilson A.H. // *Proc. Symp. On Utilization of high strength concrete*, Stavanger, Norway, June 1987. - P. 85-118.
4. Elzanaty A.H. Shear capacity of reinforced concrete beams using high-strength concrete / Elzanaty A.H., Nilson A.H., Slate F.O. // *ACI Journal*. – V. 83. - March-April 1986. - P. 290-296.
5. Kaufman M.K. Structural behavior of high strength concrete prestressed I-beams / Kaufman M.K., Ramirez J.A. // *Final Report*. - V.2 Purdue Univ., Lafayette, IN. Joint Highway Research Project.
6. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01–84*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.
7. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2013 р.