

УДК 624.012.25:539.319

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ЗАХИСНОГО ШАРУ НА НАПРУЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З ВИСОКОМІЦНИМ БЕТОНОМ

М. М. Крейч

студент 3 курсу, група ПЦБ-31 інт, навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Науковий керівник – к.т.н., доцент С. В. Філіпчук

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

Наведено результати експериментальних досліджень зчеплення арматури з високоміцним бетоном. Проведено аналіз впливу захисного шару на граничні напруження зчеплення арматури з бетоном.

Ключові слова: міцність, арматура, бетон, зчеплення.

Приведены результаты экспериментальных исследований сцепления арматуры с высокопрочным бетоном. Проведен анализ влияния защитного слоя на предельное напряжение сцепления арматуры с бетоном.

Ключевые слова: прочность, арматура, бетон, сцепление.

The article gives the results of the experimental researches of the bond between steel and high strength concrete. The analysis of the impact of the concrete cover on the boundary stresses of the bond between steel and concrete was carried out.

Keywords: strength, armature, concrete, adhesion.

Державні будівельні норми «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ (ДБН В.1.2-142009) встановлюють жорсткі вимоги як до будівельних об'єктів взагалі, так і до будівельних конструкцій зокрема з питань забезпечення їхньої надійності впродовж встановленого терміну експлуатації. Надійність залізобетонних конструкцій залежить від анкерування арматури, під якою розуміється закріплення стержнів всередині бетону з метою сприймання ними повної величини зусиль.

На сьогодні певною мірою досліджено зчеплення арматури з бетоном класів до С60 залежно від основних факторів, таких як міцність бетону, діаметр арматури, довжин анкерування, характеристики профіля арматури [1]. При цьому теоретичні і експериментальні дослідження виконувалися за дії статичних навантажень (в основному статичному витяганню стержнів з бетону). На сьогодні значне розширення області використання залізобетонних конструкцій, особливо в фортифікаційних спорудах, потребує застосування високоміцних бетонів класів С70, С80 і вище [2; 3]. Крім цього, залізобетонні конструкції застосовуються в спорудах, які піддаються динамічним впливам (сейсмічні, ударні). За таких умов питання анкерування арматури не досліджувалися взагалі.

Необхідність дослідження зчеплення арматури з високоміцним бетоном обумовлено і тим, що арматура серпоподібного профілю, зчеплення якої з бетоном досліджено недостатньо, отримала повсюдне використання, набули чинності нові нормативні документи з проектування залізобетонних конструкцій, які гармонізовані з європейськими і в яких використовуються формули, емпіричні коефіцієнти, що потребують уточнень на підставі

результатів експериментальних досліджень в національних умовах, особливо з високоміцними бетонами та за дії динамічних навантажень.

Мета досліджень – встановити вплив товщини захисного шару бетону на максимальні напруження зчеплення арматури з бетоном, а також встановити характер руйнування призм.

Методика досліджень. Поряд з основними зразками виготовлялися кубики розміром $150 \times 150 \times 150$ мм в кількості 6 штук для визначення кубикової міцності бетону у віці 28 діб і в період випробувань зразків, призми розміром $150 \times 150 \times 600$ мм в кількості 6 штук для визначення призмової міцності бетону й початкового модуля пружності у віці 28 діб та під час випробувань зразків.

У віці 28 діб середня кубикова міцність для дослідного бетону склала відповідно $f_{cm,cube} = 70,4$ МПа. Середня призмova міцність бетону для прийнятого класу бетону склала $f_{cm,prism} = 58,8$ МПа [4].

В дослідах використовували арматуру класу А500С діаметром 12, 16 та 20 мм, яка найбільш поширено використовується для армування залізобетонних конструкцій. Індекс Рема для цих стержнів відповідно склав $f_R = 0,070$; $0,075$ та $0,071$, що відповідає середнім значенням, які забезпечують необхідне зчеплення з бетоном.

За результатами випробувань по три зразки – близнюки визначена міцність арматури на межі текучості, яка для стержнів діаметром 12, 16 та 20 мм відповідно склала $f_y = 511,8$; $566,8$ та $595,2$ МПа, а міцність на розтяг – $f_t = 605,5$; $703,6$ і $761,4$ МПа. Відносні деформації при напруженнях на межі текучості склали $\varepsilon_{s0} = 262,5 \times 10^{-5}$; $\varepsilon_{s0} = 272,5 \times 10^{-5}$ та $\varepsilon_{s0} = 278,1 \times 10^{-5}$. Всі механічні характеристики арматури відповідають класу А500С.

Основні дослідні зразки виготовляли у вигляді бетонних призм квадратного перерізу, сторони якого дорівнювали 15 см, а висота – запланованій довжині анкерування. Арматурні стержні розташовували в призмах таким чином, щоб їхні поздовжні осі співпадали, а виступаючі з призм частини стержнів дозволяли з одного боку закріплювати в захватах гідравлічного преса, а з другого (вільного) кінця стержнів – вимірювати їхні переміщення відносно торця призм.

В кожній точці плану виготовляли по три зразки-близнюки, а на основному рівні – шість зразків. Крім цього, виготовляли бетонні зразки у вигляді стандартних кубів і призм для визначення міцнісних властивостей бетону при стиску, а також призм для визначення міцності бетону при розтяганні. Всього відповідно до плану було випробувано 18 основних зразків. Формування зразків здійснювали в дерев'яних формах, в які попередньо встановлювалися арматурні стержні.

Дослідження зчеплення арматури з бетоном здійснювали шляхом витягування стержнів із бетонних призм з використанням спеціального реверсного пристрою в розривній гідравлічній машині УИМ–50. Витягування стержнів виконували ступенями, рівними $\Delta F = (0,5 \dots 1,0)$ кН.

За граничний стан зчеплення арматури з бетоном приймали зусилля в стержні F_u , коли зміщення його вільного кінця відносно торця призми складало $\delta_u = 0,1$ мм або відбувалося розколювання призми при $\delta < 0,1$ мм.

В граничному стані визначалися максимальні середні по довжині дотичні напруження (напруження зчеплення) для кожного зразка за формулою

$$f_{bi} = F_{ui} / (\pi \cdot d \cdot l_b), \quad (1)$$

де f_{bi} – граничні середні по довжині напруження зчеплення i -го зразка по поверхні контакту стержня з бетоном;

F_{ui} – руйнуюче зусилля i -го зразка в граничному стані;

d – діаметр стержня;

l_b – довжина заробки стержня в бетон (довжина анкерування стержня).

Граничні середні дотичні напруження, які виникають на поверхні контакту стержня з бетоном f_b , що визначалися за формулою (1), можна називати міцністю зчеплення арматури з бетоном. Критерієм міцності є зміщення торця стержня в бетоні на 0,1 мм і більше або розколювання бетону.

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить, що товщина захисного шару суттєво впливає на граничні напруження зчеплення арматуру з бетоном. Так при захисному шарі $c = 36$ мм (стержні розташовані по осі бетонної призми) для арматури $d = 12$ мм максимальні напруження зчеплення склали $f_b = 12,17$ МПа, а при $c = 18$ ($c = 1,5d$) і $c = 12$ мм ($c = 1,0d$) відповідно $f_b = 10,39$ і $9,86$ МПа. Аналогічне відносне зменшення напружень зчеплення спостерігається і в зразках з діаметром арматури 16 і 20 мм. Таким чином, максимальне зчеплення спостерігалось при найбільшому захисному шарові, а мінімальне при найменшому.

Характер руйнування зразків також залежить від товщини захисного шару. При $c = 3d$ руйнування відбувалося по трьом-чотирьом площинам з виходом тріщин на бокові поверхні, призма розділялася на окремі елементи. Проте в призмах із захисним шаром $l_b = 10d$ спостерігалось висмикування стержня з утворенням поздовжніх тріщин в напрямку до всіх граней. При $c = 1,5d$ тріщини розвивалися в межах захисного шару, а безпосередньо перед повним руйнуванням – в напрямку до бічних граней. В зразках, в яких $c = 1d$, руйнування відбувалося по площині, яка перетинала захисний шар. Треба зазначити, що поздовжні тріщини утворювалися вздовж поздовжніх виступів стержнів, внаслідок розклинювальної дії поперечних виступів, які розташовані під кутом до напрямку витягування стержнів.

Вплив товщини захисного шару на проковзування стержнів. В процесі випробувань вимірювалися зміщення вільного кінця стержнів, які теж значною мірою залежать від товщини захисного шару і діаметра арматури. Наприклад, в зразках з діаметром арматури $d = 12$ мм при $l_b = 10d$ і $c = 12$ ($c = d$) приблизно до напружень $\sigma_s = 75$ МПа зміщення вільного кінця не спостерігалось, а в зразках з $c = 36$ ($c = 2d$) – до $\sigma_s = 160$ МПа. В зразках з діаметром стержнів 12 мм і $c = 12$ граничний стан визначено за досягнення $\delta_{\max} = 0,1$ мм, в усіх інших зразках відбулося крихке розколювання призм при $\delta < 0,1$ мм.

В зразках з діаметром арматури $d = 20$ мм при $l_b = 10d$ і $c = 12$ ($c = d$) характер зміщення вільного кінця стержнів був приблизно такий ж самий, до напружень $\sigma_s = 115$ МПа зміщення вільного кінця не спостерігалось, а в зразках з $c = 36$ ($c = 2d$) – до $\sigma_s = 170$ МПа. Практично в усіх зразках граничний стан визначено за $\delta < 0,1$ мм.

Експериментально доведено, що товщина захисного шару суттєво впливає на максимальні напруження зчеплення арматури з бетоном та на характер руйнування призм.

1. Бабич Є. М., Бабич В. Є., Поляновська О. Є. Зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та її анкерування в згинальних залізобетонних елементах: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2017. 160 с.
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Житковський В. В. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту. Рівне: НУВГП, 2011. 174 с.
3. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони / Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Житковський В. В., Бордюженко О. М. та ін. Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.
4. Механічні характеристики швидкотверднучих високоміцних бетонів / Є. М. Бабич, В. Є. Бабич, С. В. Філіпчук, Д. В. Кочкар'юв. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2016. Вип. 32. С. 114–120.