

УДК 693.54:624.016

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНУВАННЯ ОСЕРДЯ ТРУБОБЕТОНУ НА ЙОГО МІЦНІСТЬ

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ЯДРА ТРУБОБЕТОНА НА ЕГО ПРОЧНОСТЬ

IMPACT TECHNOLOGY OF CONCRETING CONCRETE FILLED STEEL TUBES MEMBERS AT ITS CORE STRENGTH

Семко О.В., д.т.н., проф., Воскобийник О.П., к.т.н., с.н.с., докторант, Гукасян О.М., інженер (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Семко А.В., д.т.н., проф., Воскобойник Е.П., к.т.н., с.н.с., докторант, Гукасян О.М., инженер (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Semko O.V., ph. d., professor, Voskobiinyk O.P., ph.d., senior scientific officer, Hukasian O.M., engineer (Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava)

Проведено дослідження впливу умов виготовлення сталезалізобетонних конструкцій на фізико-механічні характеристики осердя та несучу здатність, міцність і деформативність трубобетонних елементів.

Проведено исследование влияния условий изготовления сталежелезобетонных изделий на физико-механические характеристики бетона и несущую способность, прочность и деформативность трубобетонных элементов.

A study of the effects of conditions in the manufacture of composite products of physical and mechanical properties of concrete and load-bearing capacity, strength and deformability elements concrete filled steel tubes members

Ключові слова:

Трубобетон, технологія бетонування, фізико-механічні характеристики бетону.

Трубобетон, технология бетонирования, физико-механические характеристики бетона.

Concrete filled steel tubes members, concrete technology, physical and mechanical properties of concrete.

Постановка проблеми. Протягом останніх років в Україні активно проводяться дослідження трубобетонних конструкцій. На теперішній час вивчені особливості роботи трубобетонних елементів залежно від їх геометричних характеристик, фізико-механічних властивостей бетону осердя та матеріалу оболонки, напружено-деформованого стану, способу прикладання навантаження та його тривалості тощо. Але практично відсутні дослідження впливу технології бетонування осердя трубобетонних елементів на міцність конструкції. Не досліджений розрахунок трубобетонних елементів не менше ніж з двома складовими по довжині осердя з різними фізико-механічними властивостями.

Таким чином, дослідження впливу технології бетонування трубобетонних елементів на надійність конструкції є актуальною науковою задачею, яка має теоретичне та практичне значення.

Огляд останніх джерел, досліджень і публікацій та виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.

Міцність бетону залежить не тільки від кількості і якості складових, а і значною мірою визначається рядом виробничих факторів, зокрема точністю дозування компонентів, умовами перемішування та ущільнення бетонної суміші й способами її транспортування. На сучасних заводах цемент, воду і добавки дозують з точністю $\pm 1\%$, а заповнювачі $\pm 2\%$. Однак, на практиці трапляються більші відхилення. В роботах О.Я. Берга [1] встановлено, що тривале перемішування бетонної суміші в певних оптимальних межах збільшує міцність бетону.

Проведений аналіз мінливості фізико-механічних властивостей матеріалів, з яких складаються сталезалізобетонні конструкції [4], свідчить, що серед інших складових найбільшу неоднорідність властивостей має бетон. Поряд із цим внаслідок притаманних особливостей твердіння та напружено-деформованого стану, що створюється в бетоні сталезалізобетонних конструкцій, його міцність та деформативність можуть суттєво змінюватись. Виявлення та врахування цих закономірностей потребує особливої уваги.

Основним прикладом впливу умов бетонування на показники однорідності бетону є трубобетонні конструкції. Адже, як відомо [2], завантаження (попередній обтиск) бетонної суміші до кінця твердіння збільшує міцність бетону. Численними дослідженнями [5, 6, 7, 8]. встановлено, що ізоляція від зовнішнього середовища бетонної суміші в трубі сприятливо впливає на міцність бетону. Замість очікуваної усадки відбувається набухання бетону та його розширення, при цьому міцність бетону підвищується на 10...15%, яке зберігається протягом багатьох років і створює сприятливі умови для роботи під навантаженням. Повзучість бетону, що знаходиться в трубобетонному елементі, менша, ніж у звичайних

залізобетонних конструкціях і не настільки суттєво впливає на мінливість модуля деформації бетону залежно від часу.

Окрім того, в [1, 2] доведено, що умови твердіння в об'ємі також значно підвищують однорідність фізико-механічних властивостей бетону. Так, коефіцієнт варіації та середньоквадратичне відхилення міцності бетону за даними для серій зразків, що тверділи в нормальних умовах та в об'ємі (ізольоване твердіння) складають відповідно 16,8 та 7,4% при середніх значеннях руйнівного навантаження 294 кН та 340 кН, що свідчить про значне підвищення однорідності бетону [2].

Поміж тим, суттєвий вплив на міцність конструктивних елементів, що містять бетон, має технологія виготовлення та ущільнення бетонної суміші, особливо, в ускладнених умовах бетонування за необхідності укладання її в обмежений простір (об'єму), що характерно саме для трубобетонних конструкцій. Всі ці фактори зумовлюють виникнення можливої неоднорідності бетонного ядра трубобетонних елементів по об'єму конструктивного елементу, що на сьогодні є недостатньо дослідженим.

Таким чином, **мета роботи** полягає в продовженні експериментальних досліджень впливу відхилень умов виготовлення сталезалізобетонних (зокрема трубобетонних) конструкцій на зміну фізико-механічних характеристик бетону в осерді на їх несучу здатність, міцність та деформативність. Міцність бетону залежить від багатьох технологічних факторів таких як: водоцементне відношення (В/Ц), марка цементу, умов і строку твердіння. До інших факторів, що також (хоча і не так виразно) впливають на міцність бетону відносяться вид цементу, якість заповнювачів, умови приготування бетонної суміші, її транспортування і укладання [2, 3, 4, 5]. А також процес виробництва бетонної суміші, що передбачає виконання таких технологічних операцій: підготовки матеріалів, дозування та змішування.

Задачі та програма експериментальних досліджень трубобетонних елементів з дефектами осердя. Тому, основною задачею експериментальних досліджень є отримання даних про вплив технології бетонування трубобетонних елементів з різними типами, найбільш поширених дефектів таких як: неоднорідність міцності бетону по висоті зразка (серія ТБк) та наявність порожнин та раковин (серія ТБп). Такий підхід дозволить проранжувати можливі дефекти бетонного осердя за ступенем їх впливу на несучу здатність та деформативність трубобетонних конструкцій, та слугувати основою для подальшого розроблення методики розрахунку та оцінювання технічного стану такого типу конструктивних елементів, а також надати рекомендації щодо оптимізації технології виготовлення трубобетону.

Прийнята програма експериментальних досліджень передбачала випробування на стиск коротких трубобетонних елементів (зі співвідношенням розмірів $l = 4D$), що мають різноманітні послаблення бетонних осердь по висоті зразка. Під час проведення експерименту

варійованими параметрами слугували склад бетону (на двох рівнях: $f_{cm,cube}=15$ та 35 МПа) та наявність, тип та розташування штучно створених послаблень (дефектів бетонування) бетонного ядра.

Таким чином, для вирішення поставленої задачі було виготовлено 15 експериментальних зразків, з яких у десяти зразках досліджувалися неоднорідності міцності осердя (рис. 1), а інші п'ять були виготовлені з штучно утвореними порожнинами та раковинами (рис. 2).

Заповнення бетоном трубобетонних зразків виконувалось за різними схемами: по всій висоті бетоном однієї міцності (ТБк-1 та ТБк-2), заповненням бетоном різної міцності на половину висоти (ТБк-3 та ТБк-4), заповненням бетоном різної міцності на 1/4 висоти із торців зразка (ТБк-5 та ТБк-6), різної міцності на 1/3 висоти зразка (ТБк-7, ТБк-8, ТБк-9, ТБк-10).

Також для дослідження характеристик трубобетонних елементів з дефектами осердя бетонуванням труб-оболонки здійснювалось бетоном однієї міцності по всій висоті зразка зі штучно утвореним послабленням по всій висоті перерізом 30×30 мм, які розміщувалися біля стінки труби (ТБп-1 та ТБп-2) та в центрі зразка (ТБп-3 та ТБп-4), а також один зразок з утвореним послабленням у вигляді раковини розміром $30 \times 30 \times 60$ мм, що розміщений по середині висоти біля стіни труби (ТБп-5).

Для утворення порожнин та раковин (штучних дефектів) використовувались бруски пінополістиролу, ретельно виміряні та вирізані.

Під час проведення випробувань дослідних зразків фіксувалися два характерних стани:

- межа текучості – досягнення в металі труби-оболонки напружень текучості, які відповідають навантаженню при границі текучості N_u . Цей стан характеризується зростанням відносних деформацій більше, ніж на $(130...150) \times 10^{-5}$ одиниць та появою характерних ліній Людерса-Чернова на поверхні металу зразка;

- межа міцності (руйнування) зразка. Характеризується значними деформаціями та втратою місцевої стійкості металевої оболонки зразка, що відповідає максимальному навантаженню при повній втраті несучої здатності N_u .

Значення зусиль N_y , N_u , відносних деформацій та характер руйнування дослідних зразків наведені в таблиці 1. Загальний вигляд дослідних зразків після випробування наведено на рис. 3 і 4.

В результаті проведення випробувань було встановлено ступінь та тип пошкоджень осердя трубобетонних зразків, що впливає на характер їх руйнування. Так, для елементів із утвореними пустотами по всій довжині характерне утворення поздовжніх тріщин, що зумовлене концентрацією напружень. Зразки зі змінною міцністю бетону по висоті мали більш пластичний характер руйнування внаслідок втрати загальної та місцевої стійкості.

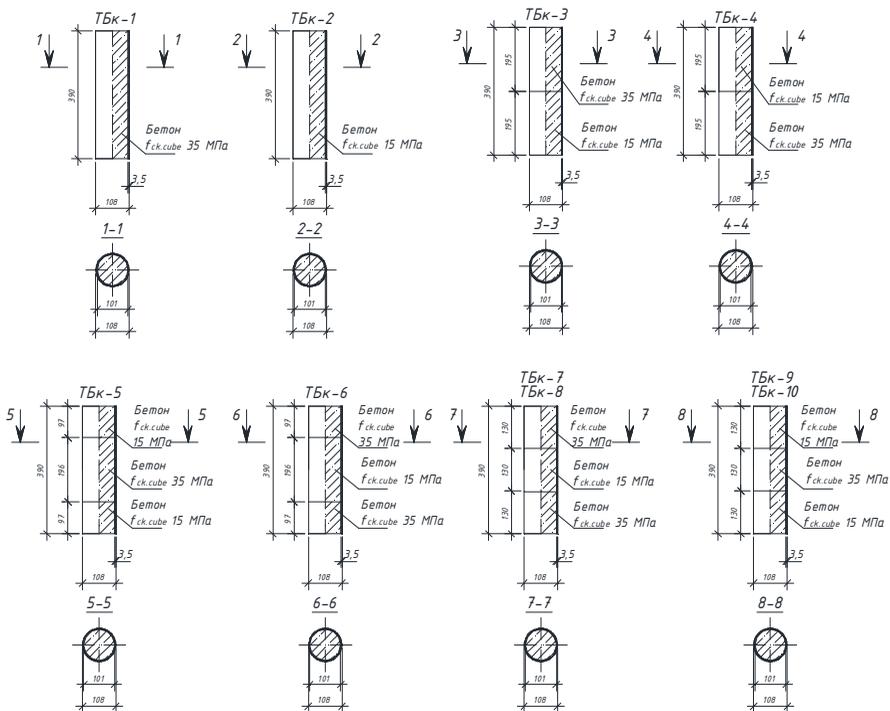


Рис. 1. Схема бетонування труботонних елементів з різною міцністю бетону

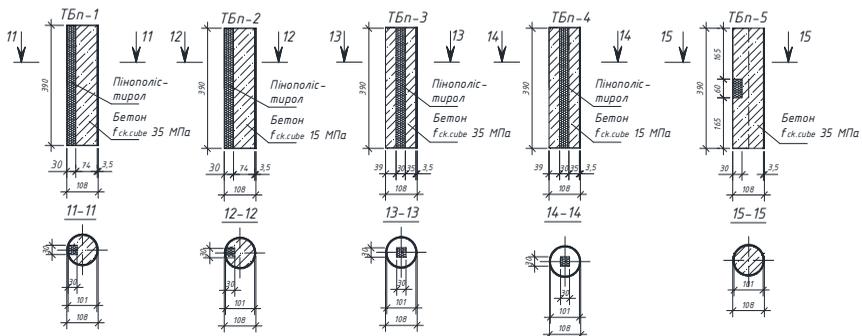


Рис. 2. Схема бетонування труботонних елементів з порожнинами та раковинами



Рис. 3. Загальний вигляд дослідних зразків серії ТБк після випробувань



Рис. 4. Зразки серії ТБп (з штучно утвореними порожнинами) після випробування

Тип (на відміну від параметрів) штучно створених пошкоджень бетонного осердя дослідних трубобетонних зразків суттєво впливають на їх несучу здатність: так утворення порожнин по висоті зразка призводить до зниження несучої здатності трубобетонного елемента в межах від 10 до 15% за зусиллям, яке відповідає межі текучості (N_y), та від 20 до 30%, що відповідає повній втраті несучої здатності (N_u). Зміна міцності бетону по висоті зразка призводить до зниження несучої здатності трубобетонного елемента до 10%.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що існують мінімальні параметри пошкоджень та дефектів оболонки, наявність яких практично не впливає на несучу здатність трубобетонного елемента. При цьому аналіз структури бетонного ядра дослідних зразків свідчить про відсутність розшарування бетонної суміші та рівномірність розподілу її

компонентів по висоті зразків (за виключенням штучно створених дефектів), бетонування яких відбувалось у вертикальному положенні.

Таблиця 1

Несуча здатність експериментальних зразків

Шифр та номер зразка	Граничні зусилля		Характер руйнування зразка
	при границі текучості N_y , кН	при повній втраті несучої здатності N_u , кН	
Серія ТБк			
ТБк-1	575	850	Утворення гофри на кінці зразка та викривлення поздовжньої осі елемента.
ТБк-2	330	454	
ТБк-3	345	484	Руйнування відбувалося в частині послаблення міцності бетону та утворювалися гофри.
ТБк-4	368	484	
ТБк-5	384	514	Утворилася гофра та розширення в місці заповнення бетоном меншої міцності.
ТБк-6	342	432	Утворилася гофра зверху та знизу зразка.
ТБк-7	338	484	Вгин та гофра посередині зразка
ТБк-8	358	498	
ТБк-9	386	480	Утворилися гофри у верхній та нижній частині зразка.
ТБк-10	362	476	
Серія ТБп			
ТБп-1	332	436	Утворились гофри у верхній частині зразка та в центрі, в бетонному осерді спостерігаються тріщини.
ТБп-2	320	376	
ТБп-3	318	330	Утворились гофри у верхній частині зразка, але в бетонному осерді тріщини не спостерігаються
ТБп-4	414	450	
ТБп-5	408	480	Утворилася гофра та вм'ятина у місці порожнини

Висновки. Наявність навіть невеликого послаблення бетонного осердя чи неякісне виконання бетонних робіт істотно впливає на несучу здатність трубобетонного елемента. Так, утворені пустоти під час виробництва можуть знизити несучу здатність конструкції до 30%. Суттєве значення має факт наявності дефектів бетонування, а розміри послаблення при цьому не відіграють великого впливу. Аналізуючи неоднорідність міцності зразків серій ТБк та ТБп, можна зробити висновок, що найменшу несучу здатність

мають зразки, які мають дефекти осердя у вигляді пустот, які розташовані по центру та на крайніх зразка.

1. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Гостехиздат, 1961.- 96с. 2. Кинин А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном [текст] / А.И. Кинин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль. – Москва: Стройиздат, 1974. – 145 с. 3. Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий [текст] / А.Г. Комар. – Москва: Стройиздат, 1984. – 267 с. 4. Семко О. В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій : монографія / О. В. Семко, О. П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с. 5. Семко О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О. В. Семко. – К.: Сталь, 2004. – 316 с. 6. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Навчальний посібник / Л.І. Стороженко, О.В.Семко // Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2001.-43 с. 7. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Навчальний посібник / Л.І. Стороженко, О.В.Семко, В.Ф. Пенц // Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2005.- 181 с. 8. Стороженко Л.І. Загальні відомості про трубу бетон / Сталезалізобетон: Збірник наукових праць. За редакцією д.т.н., проф. Стороженка Л.І. / Л.І. Стороженко // Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2006. С. 11 – 15.