

Вільні члени Δ_{ip} у рівняннях (4) являють собою узагальнені переміщення точок спільної поверхні компонентів від дії зовнішнього навантаження. Вони встановлюються для кожного окремого виду діючого зусилля (P , M_{pz} , M_{kp}), залежно від умов конкретної задачі.

Висновок. Отриманий розв'язок задачі про визначення величини контактних зусиль між компонентами трубобетону є наближеним і досягнення необхідної точності можливе за рахунок включення більшої кількості членів розкладання (1)–(3).

1. Лукаш Л.К. Прочность трубобетона. – Мн.: Вышэйша школа, 1977. – 96 с. 2. Вплив типу контактної взаємодії між компонентами на міцність стиснутих трубобетонних елементів / Стороженко Л.І., Лапенко О.І., Єрмоленко Д.А. // *Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. трудов. Вып. № 50. – Дн-вск, ПГАСА, 2009. – С. 544–549.* 3. Єрмоленко Д.А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетону / Збірник наукових статей “Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація”. – Кривий Ріг, 2008. – Вип. 8. – С. 322–327. 4. Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании – М.: Гос изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. – 492 с. 5. Чихладзе Э.Д., Веричева М.А. Напряженно-деформированное состояние цилиндрической сталежелезобетонной колонны при осевом сжатии // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2006. – Вип. 67. – С. 389–399. 6. Вайнберг Д.В., Чудновский В.Г. Расчет пространственных рам. – К.: Госстройиздат УССР, 1964. – 308 с. 7. Стороженко Л.І., Єрмоленко Д.А., Лапенко О.І. Трубобетон: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 306 с.

УДК 624.015.5

Л.І. Стороженко, О.А. Крупченко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ БАЛКИ ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОННИМ ВЕРХНІМ ПОЯСОМ

© Стороженко Л.І., Крупченко О.А., 2010

Запропоновано нову конструкцію – сталезалізобетонну двотаврову балку із залізобетонним верхнім поясом та послідовність її виготовлення. Наведено чотири типи з'єднання залізобетонної полицки зі сталевим тавровим елементом. Зроблено висновки про доцільність таких конструкцій.

Ключові слова: сталезалізобетонні конструкції, напружено-деформований стан, несуча здатність, міцність, жорсткість.

A new construction of steel reinforced concrete flanged beam with reinforced top belt and sequences of its production has been proposed. Four types of connection of reinforced concrete layer with steel T-beam unit have been given. Summary about worth while use of such constructions has been done.

Key words: composite structure, deflected mode, bearing capacity, durability, rigidity.

Постановка проблеми. Одним з основних завдань капітального будівництва є скорочення термінів виробництва будівельної продукції та зменшення трудозатрат на її виготовлення. Цього можна досягти, спрощуючи використовувані способи виготовлення та запроваджуючи нові простіші та ефективні методи з меншою трудоемкістю, а також повніше й ефективніше використання будівельних матеріалів, створення нових економічних і довговічних конструкцій.

До таких можна зарахувати сталезалізобетонні конструкції [1, 3–5], які мають високі техніко-економічні показники за рахунок використання переваг кожного з матеріалів, що входять до їх

складу. Підвищення несучої здатності в таких конструкціях досягається раціональним поєднанням прокатних або зварних сталевих елементів із залізобетонним тілом (масивом). Сталезалізобетонні конструкції відрізняються від сталевих меншою витратою металу, а порівняно із залізобетонними мають значно меншу масу. Доцільність використання сталезалізобетонних конструкцій у практиці будівництва неодноразово відзначена на міжнародних симпозиумах і конференціях, а також підтверджена досвідом їх теоретичного вивчення і широкого практичного застосування [1, 3–5].

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні достатньо досліджені сталезалізобетонні згинальні конструкції із жорстким та листовим армуванням [1–5], доведена їх техніко-економічна ефективність, запропоновані різні методи їх розрахунку. Розроблено багато видів з'єднань залізобетонних складових зі сталевими, що забезпечують їх сумісну роботу. Аналогом таких конструкцій є сталезалізобетонні двотаврові балки із залізобетонним верхнім поясом, де розтягуючі зусилля сприймає сталевий елемент (тавро або двотавро), а стискаючі – верхня залізобетонна полицка. При використанні сталевих таврових елементів зменшується кількість сталі у стиснутій частині перерізу та значно спрощується процес виготовлення таких конструкцій, стиснута залізобетонна полицка порівняно зі сталевим не втрачає стійкості.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Але досі не вирішена проблема проектування цих конструкцій, яка полягає у визначенні кількості арматури у стиснутій залізобетонній полицці, розмірів поперечного перерізу та способів з'єднання двох складових комплексної конструкції, що були б простими й економічними у виготовленні та надійними в експлуатації.

Формулювання цілей. Для підвищення ефективності і більшого поширення двотаврових сталезалізобетонних балок із залізобетонним верхнім поясом необхідне їх детальне експериментальне вивчення та розроблення теорії і методів розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Авторами цієї статті запропонований новий тип сталезалізобетонної балки (рис. 1.), яка складається із залізобетонної полицки з арматурним каркасом чи сіткою та сталевих таврових елементів. Особливістю таких балок є те, що при з'єднанні залізобетонної полицки зі сталевим тавровим елементом за відсутності верхньої металевої полицки

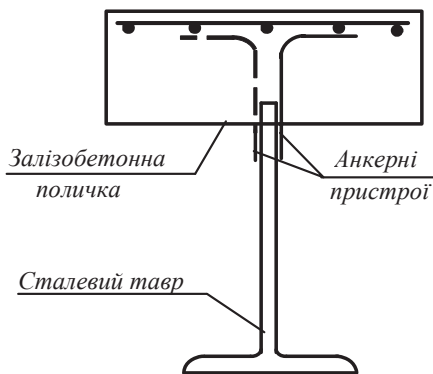


Рис. 1. Поперечний переріз сталезалізобетонної балки

повинна забезпечуватись їх сумісна робота. Тобто балка має працювати як єдине ціле: сприймати згинаючі зусилля $M_{зг}$, перерізуючі Q , крутні $M_{кр}$, а також зсуваюче зусилля T , яке виникає в контактній площині між шарами різних матеріалів.

Для отримання експериментальних результатів були запроєктовані і виготовлені дослідні зразки, що поділялись на чотири серії, призначення котрих відповідає вимогам до вивчення різних факторів, від яких може залежати ступінь впливу величини згинального моменту та поперечної сили на міцність і деформативність досліджуваних конструкцій.

Факторами, що вивчалися, є типи з'єднань залізобетонної полицки зі сталевим тавровим елементом

та конструкція комплексних балок загалом. Загальна кількість дослідних балок – 16. Усі зразки являли собою двометрові двотаврові балки висотою 185 мм, що утворені залізобетонною полицкою із поперечним розміром 180×55 мм (клас бетону В 40) і сталевим тавровим елементом – прокатний двотавр № 16 зі зрізаною верхньою полицкою. У тілі залізобетонної полицки містилася арматурна сітка з розміром комірки 70×40 мм (арматурний дріт Вр-1, Ø 4 мм), товщина захисного шару становила 5 – 7 мм. По краях кожної балки були приварені опорні ребра розмірами 190×81×8 мм, які сприймали зсувні зусилля разом із анкерами. Відрізнялися зразки один від одного типами з'єднань (рис. 2) залізобетонної полицки зі сталевим тавром: г- та петлеподібні, які приварені до

стілки тавра із кроком 100 мм; анкерів у вигляді ламаної та ребер. Перші три виготовлялися з арматури класу А-І $\varnothing 6$ мм, а останній із фасонного листа завтовшки 4 мм, у верхній частині кожного ребра перпендикулярно приварювалися арматурні стержні $\varnothing 4$ мм завдовжки 240 мм. Встановлювалися ребра в шаховому порядку по обидва боки стінки тавра із кроком 500 мм.

Щодо анкерів у вигляді ламаної, то тут кількість стержнів, які працювали на зріз від зсувного зусилля, дорівнювала кількості стержнів у г- та петлеподібних анкерах, приварювалися вони також у шаховому порядку.

Особливістю виготовлення сталезалізобетонних балок двотаврового перерізу є те, що для бетонування верхнього залізобетонного пояса їх встановлюють у перевернутому положенні. Заздалегідь підготовлену арматурну сітку вкладають в опалубку, потім сталевий елемент балки у вигляді тавра з привареними анкерами встановлюють у перевернутому положенні на бетонні підкладки, які забезпечують утворення захисного шару. Конструкція анкерів повинна фіксувати положення тавра. Після цього здійснюють бетонування верхнього пояса за подальшим ущільненням на вібраційному столі.

Згідно з програмою експериментальних досліджень вивчалася зміна напружено-деформованого стану дослідних зразків при дії згинального моменту, поперечної сили, сумісної дії згинального і крутного моментів та дії малоциклового навантаження.

Випробування виконували за схемою однопролітної вільно обпертої балки, навантаженої двома або однією зосередженою силою. Розрахунковий проліт балок становив 1940 мм. Під час експериментальних досліджень напружено-деформованого стану зразків на дію згинального моменту (серія Б 1) відзначались характерні особливості розподілення деформацій по висоті перерізу і ширині полицок, а також інтенсивність збільшення прогинів та характери руйнування. Відносні поздовжні деформації по висоті та ширині елементів із метою виключення зусиль зсуву вимірювалися в зоні чистого згину, яка становила 500 мм, за допомогою електротензорезисторів, для контролю деформацій у найбільш стиснутих і розтягнутих волокнах зразка встановлювалися індикатори годинникового типу. Вертикальні переміщення зразків у процесі навантаження фіксували за допомогою прогиноміра.

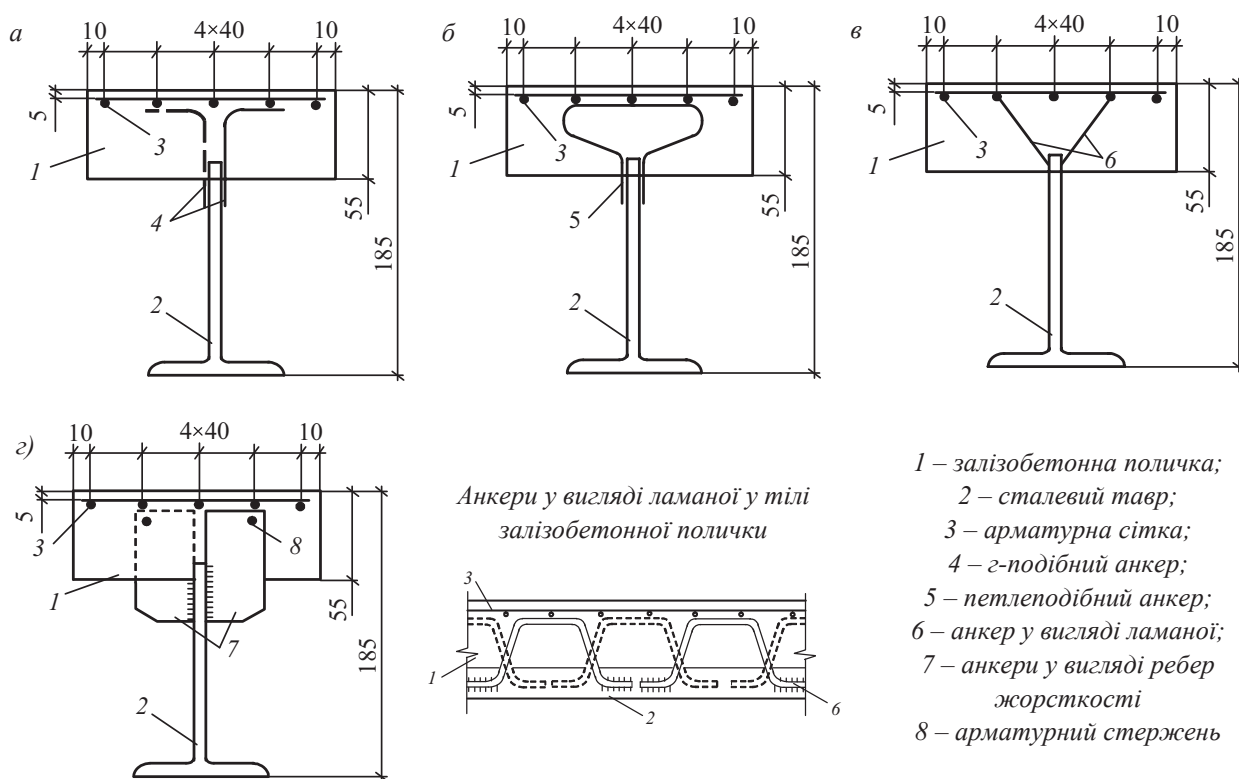


Рис. 2. Конструкції дослідних зразків:
 а – із г-подібними анкерами; б – із петлеподібними анкерами;
 в – із анкерами у вигляді ламаної; г – із анкерами у вигляді ребер жорсткості

Випробування зразків на дію поперечної сили (серія Б 2) виконували за аналогічною схемою, тільки змінювали зону чистого згину, збільшували відстань між зосередженими силами до 1000 мм, плече зрізу при цьому становило 470 мм. До вимірювальних приладів додавали розетки із тензорезисторів, які наклеювали на стінку балки у приопорній зоні.

Досліджуючи балки на сумісну дію згинального та крутного моментів, зразки (серія Б 3) завантажували однією силою посередині прольоту, зміщеною відносно стінки на 50 мм, зусилля передавалось через подвійний шарнір, який не перешкоджав поворотам відносно осей, паралельних до поздовжньої та поперечної осей балки, площина опирання шарніра становила 240×40 мм. Схема розміщення вимірювальних приладів така сама, як і для першого випадку, тільки додавались два прогиноміри, які заміряли вертикальні переміщення верхньої полицки відносно нижньої.

Під час дослідження на дію малоциклового навантаження (серія Б 4) використовувалася схема завантаження і розміщення вимірювальних приладів – така, як і при дослідженні на дію згинального моменту. Із цих досліджень бралася несуча здатність балок-близнюків і використовувалася для вибору верхньої межі навантаження, близької до руйнівної, – $0,75 M_u$ та $0,9 M_u$. При завантаженні досліджуваних конструкцій навантаженням, більшим, ніж $0,7 M_u$, у зразках спостерігався прояв пластичних деформацій, який зі збільшенням кількості циклів поступово згасав, після відновлення пружної роботи збільшення кількості циклів припинялось, а зразки доводилися до руйнування.

Відповідно до прийнятої методики виконання досліджень несучої здатності і деформативності експериментальних зразків на дію згинального моменту деформації вимірювали в зоні чистого згину. У результаті випробувань отримані діаграми розподілу деформацій по висоті перерізу (рис. 3, 4). Усі зразки незалежно від типу з'єднання залізобетонної полицки зі сталевим тавровим елементом на початкових стадіях навантаження мали пружний характер як у стиснутій, так і в розтягнутій зонах поперечного перерізу згинального елемента. Поява пластичних деформацій у нижньому розтягнутому поясі (сталеві полицка тавра) спостерігалась при навантаженнях, що становили 60–65 % від руйнівного, згинальний момент при цьому дорівнював 25–27 кНм. Прояв пластичної роботи балки загалом спостерігався при навантаженнях 70–75 % від максимального, згинальний момент дорівнював 30–33 кНм.

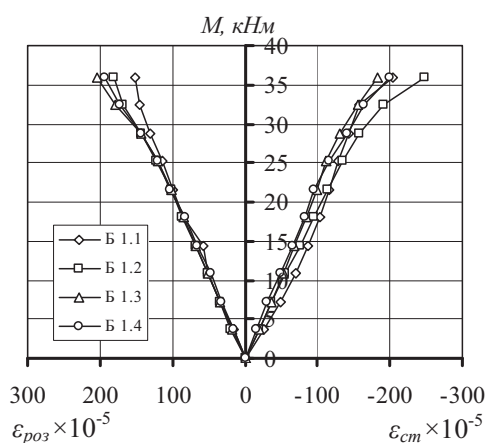


Рис. 3. Залежність поздовжніх деформацій від величини згинального моменту у крайніх волокнах досліджуваних зразків серії Б 1

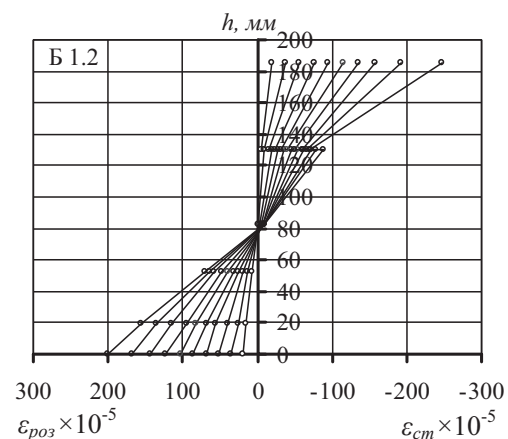


Рис. 4. Епюри розподілу деформацій по висоті нормального перерізу зразків серії Б 1

Під час випробувань особлива увага приділялась перевірці сумісної роботи сталеві та залізобетонній складових комплексних балок. На всіх епюрах розподілу деформацій по висоті нормального перерізу у місцях переходу сталеві стінки у залізобетонну полицку видно стрибки. Їх можна пояснити неоднорідністю будови бетонного тіла – наявністю крупного заповнювача біля

поверхні, де були наклеєні тензорезистори, наприклад, на рис. 5, величина стрибків на всіх ступенях завантаження для балки Б 1.2 становить $\varepsilon=(10-12)\times 10^{-5}$ відносних одиниць і $(2-4)\times 10^{-5}$ для Б 1.3 із більшими значеннями у сталевій стінці. У балці Б 1.4 деформації у стінці дещо менші, ніж у полицці, тому що тензорезистор на стінці розташований ближче до нейтральної лінії. Залежність прогинів від величини згинального моменту зображена на рис. 6.

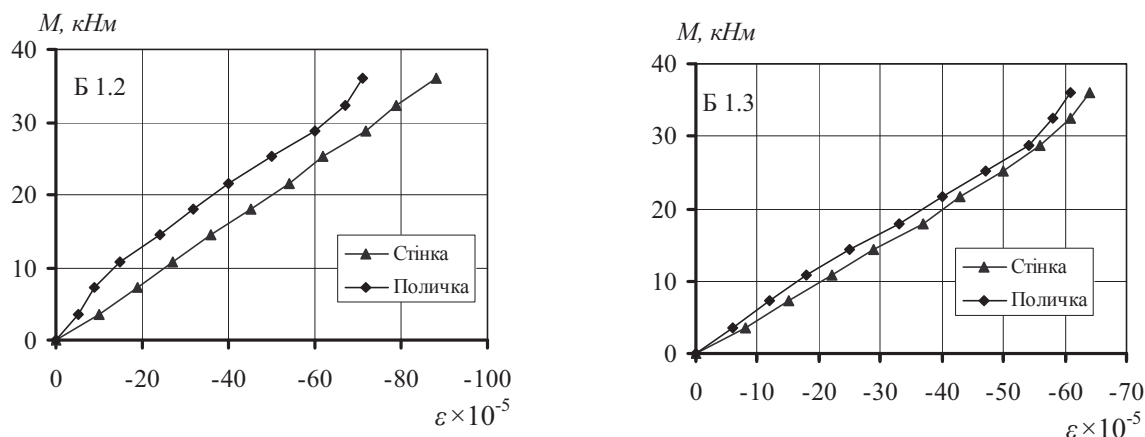


Рис. 5. Поздовжні деформації на межі між сталеву стінкою і залізобетонною поличкою

В усіх зразках серії Б 1 руйнування проходило майже однаково, характеризуючись різким збільшенням прогинів і руйнуванням верхнього стиснутого пояса на середній ділянці між точками прикладання навантаження (рис. 7). Крихкого руйнування зразків не спостерігалось, а навпаки, воно проходило пластично, що характерно для сталевих конструкцій.

Після завершення випробувань кожен зразок ретельно оглядали, особлива увага приділялась місцю переходу сталеву стінки у залізобетонну поличку. На їх межі ніяких істотних порушень зв'язку не було, що свідчить про сумісну роботу двох складових комплексної балки.

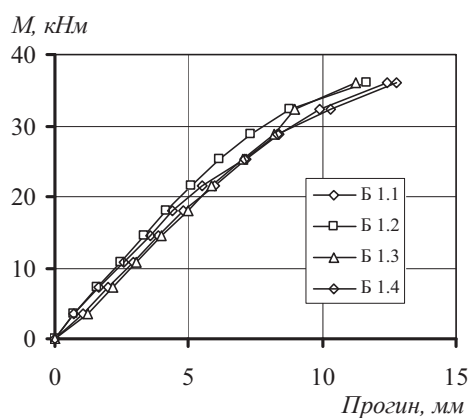


Рис. 6. Залежність прогинів від величини згинального моменту

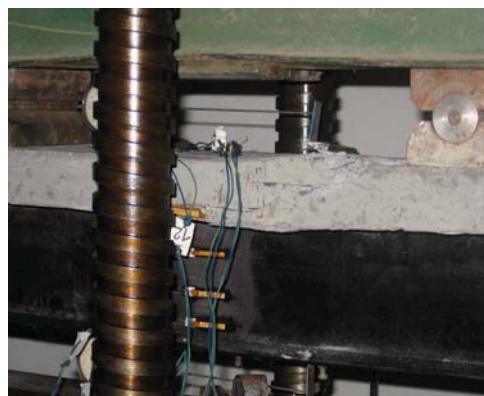


Рис. 7. Руйнування зразків серії Б 1

При дослідженні експериментальних балок на дію поперечної сили (серія Б 2) характер розподілу поздовжніх деформацій у зоні чистого згину та прогинів такий самий, як і в зразків серії Б 1. На розподіл поздовжніх деформацій на плечі зрізу в приопорній зоні значний вплив чинило жорстке опорне ребро, яке викликало деформації розтягу по всій висоті стінки (рис. 8).

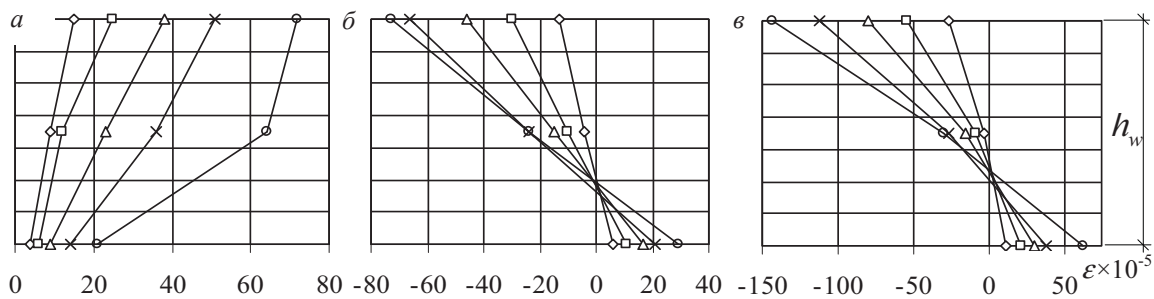


Рис. 8. Епюри деформацій у зоні дії поперечної сили, замірених тензорезисторами, що спрямовані під кутом 0° до поздовжньої осі елемента:
а – лівий; б – середній; в – правий ряд тензорезисторів

Під час дослідження балок на дію поперечної сили та сумісної дії згинального і крутного моментів (серія Б 3) також не виявлено порушень зв'язку залізобетонної полицки зі сталевим тавровим елементом. Фізичне руйнування у балках серії Б 2 відбувалося від прояву текучості у нижній частині сталевого тавра та подальшого руйнування стиснутої залізобетонної полицки у приопорній зоні (рис. 9), у балках серії Б 3 – від місцевого продавлювання верхньої залізобетонної полицки (рис. 10).

При дослідженні зразків на дію малоциклового навантаження використовувалась така схема завантаження і розміщення вимірювальних приладів, як і при дослідженні на дію згинального моменту. Із цих досліджень бралася несуча здатність балок-близнюків і використовувалась для вибору верхньої межі навантаження, близької до руйнівної, $-0,75 M_u$ та $0,9 M_u$.



Рис. 9. Руйнування зразків серії Б 3

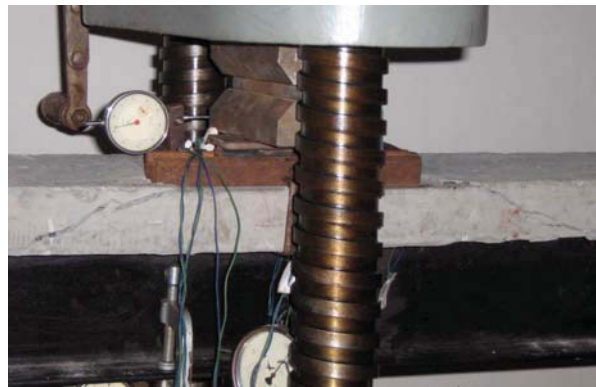


Рис. 10. Руйнування зразків серії Б 3

При дослідженні зразків із верхньою межею завантаження $0,75 M_u$, починаючи з восьмого циклу, відновлювалася пружна робота, значні пластичні деформації з'являлись після збільшення навантаження до $0,9 M_u$. У всіх зразках, які завантажувалися навантаженням із верхньою межею $0,75 M_u$, спостерігалось підвищення несучої здатності на 7–8 %. Це можна пояснити тим, що при дії на бетон стискаючим повторним короткочасним навантаженням із верхньою межею завантаження, меншою, ніж $0,85 R_b$, спостерігається збільшення призмової міцності.

Під час дослідження зразків на дію малоциклового навантаження з верхньою межею завантаження $0,9 M_u$ відновлення пружної роботи також спостерігалось після 8–9 циклів, у разі збільшення навантаження відразу ж проявлялися значні пластичні деформації, збільшення несучої здатності тут не спостерігалось. Пояснюється це тим, що стискаюче повторне короткочасне навантаження з верхньою межею завантаження, більшою, ніж $0,85 R_b$, призводить до малоциклової втоми.

Руйнування всіх зразків, які випробовувалися під дією малоциклового навантаження, проходило по нормальному перерізу аналогічно до зразків серії Б 1.

Висновки. Експериментальні дослідження показали, що сталезалізобетонні двотаврові балки із залізобетонним верхнім поясом на всіх етапах і за різних умов завантаження працюють як єдина монолітна конструкція, а запропоновані анкерні пристрої повністю забезпечують сумісну роботу сталевий та бетонній складових. Несуча здатність і жорсткість досліджуваних конструкцій практично не залежать від типів застосованих з'єднань залізобетонної полицки зі сталевим тавровим елементом. Прояв пластичної роботи досліджуваних конструкцій спостерігається при навантаженнях, які становлять 70–75 % від руйнівного, що свідчить про високу надійність таких конструкцій. Характер розподілу поздовжніх деформацій по висоті і ширині поперечного перерізу майже на всіх стадіях напружено-деформованого стану близький до лінійного, що дає можливість використання при розрахунках гіпотези плоских перерізів.

1. Клименко Ф.Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф.Е. Клименко. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с. 2. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой / НИИЖБ, ЦНИИПромзданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 54 с. 3. Сталезалізобетон: зб. наук. пр. / а ред. д.т.н., проф. Л.І. Стороженка. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 368 с. 4. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посібник / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц. – Полтава, 2005. – 181 с. 4. Eurocod. 5. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.

УДК 624.012.45:691.792

Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ ПО ПРОФІЛЬНОМУ НАСТИЛУ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ СУМІСНОЇ РОБОТИ БЕТОНУ І СТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ СКЛЕЮВАННЯ

© Стороженко Л.І., Лапенко О.І., Горб О.Г., 2010

Наведено відомості про експериментальні дослідження елементів плит по профільованому настилу, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання. Випробування здійснювалися з метою встановлення дійсного характеру роботи, деформування та несучої здатності елементів. Виконане порівняння конструкцій із забезпеченням сумісної роботи сталі та бетону за допомогою склеювання та без нього.

Ключові слова: профільований настил, зовнішнє армування, навантаження, несуча здатність, прогин.

The article contains information about experimental research on the profiled elements slabs flooring in which joint work of steel and concrete is provided with gluing. Tests were conducted to determine the true nature of the deformation work and bearing capacity elements. Steel and concrete glue connection structure and steel and concrete structure comparison was done.

Keywords: profiled flooring, external reinforcing, loading, bearing capacity, deflection.

Постановка проблеми. У наш час розвиток будівельної індустрії підтримується створенням нових конструктивних елементів, що дають змогу зменшити вартість, знизити витрати матеріалів та трудомісткість виготовлення несучих конструкцій загалом. Повністю задовольняють ці вимоги сталезалізобетонні конструкції, в яких найраціональніше використовуються сталь та бетон. Однак розробники цих конструкцій постійно стикаються з проблемою забезпечення сумісної роботи складових частин композитних елементів. Нині набуло поширення при підсиленні залізобетонних