

## ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ У СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПЕРЕКРИТТЯ

При зведенні сучасних висотних будівель все більше уваги приділяється пошуку таких конструктивних рішень, які б відповідали підвищеним вимогам міцності, жорсткості, вогнестійкості, мали невелику власну вагу. При цьому конструкції перекриттів повинні мати економічні показники: малу будівельну висоту і матеріаломісткість, технологічність із орієнтацією на вітчизняний досвід будівництва і достатньо високу якість матеріалів, що застосовуються.

Протягом багатьох років у світовій будівельній практиці при влаштуванні конструкцій перекриттів як промислових, так і громадських будівель широко застосовують залізобетонні плити перекриття із зовнішнім листовим армуванням (рис. 1). Їх надійна робота при короткочасних, постійних, тривалих та циклічних навантаженнях підтверджена багатьма експериментальними та теоретичними дослідженнями [1–15].

Запроектовано і збудовано велику кількість будівель і споруд з використанням сталезалізобетонних конструкцій у Німеччині, США, Франції, Японії та в Україні.

Ці конструкції мають ряд переваг, що визначило їх провідне місце у світовому будівництві, а саме:

- відсутність опалубки, що скорочує терміни будівництва та зменшує трудомісткість зведення перекриття;

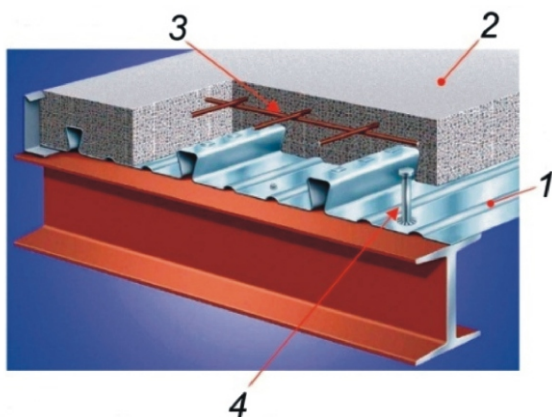


Рис. 1. Залізобетонна плита перекриття із зовнішнім листовим армуванням:

1 – сталевий профільований настил; 2 – монолітний бетон перекриття; 3 – арматурна сітка; 4 – стрижньовий анкер



**Є.Л. Шармаков**

аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури

- можливість отримати поверхню з елементів із суцільним зовнішнім армуванням, що є непроникною для рідин та газів;
- зменшення маси конструкції в залежності від їх виду 20–30 %;
- незначний вплив тріщиноутворення у сталезалізобетонних конструкціях у порівнянні із залізобетонними.

Незважаючи на перераховані переваги, сталезалізобетонні конструкції перекриття мають також суттєві недоліки, одним із яких є проблема забезпечення зчеплення між сталевією та залізобетонною частинами перерізу.

Анкерні засоби, забезпечуючи сумісну роботу сталевією профільованого настилу та бетоном, відіграють важливу роль при сприйнятті зсувних та розтягувальних зусиль. При відсутності об'єднувальних деталей безпосереднє зчеплення бетону із сталевим настилем може передавати від 1,0 до 2,5 МПа [2]. За наявності об'єднувальних деталей зчеплення порушується при значно більш високих сколювальних напруженнях [1].

На сьогоднішній день існує чимало конструктивних способів забезпечення зчеплення. Найбільш поширеним є приварювання анкерів «Nelson» та анкерів різноманітної конфігурації з прокатного металу до сталевієї балки перекриття через профільований лист (рис. 2). Таким чином забезпечується надійна сумісна робота плити із балкою перекриття [8, 13].

Також набули застосування петльові анкери (рис. 3), які спричиняють сильні концентрації напружень у бетоні, навколо анкера, що призводить до втрати несучої здатності анкера або зварного шва [15].

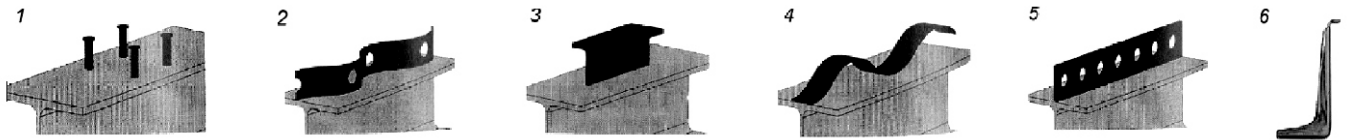


Рис. 2. Засоби забезпечення сумісної роботи сталеві балки та плити перекриття:

1 – анкери «Nelson»; 2 – гнута перфорована стрічка; 3 – Т-подібний анкер; 4 – хвилеподібна стрічка; 5 – пряма перфорована стрічка; 6 – анкер «Hilti HVB»

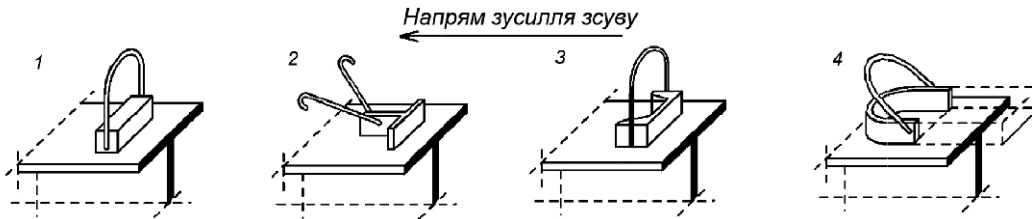


Рис. 3. Петльові анкери:

1 – брусковий;  
2 – Т-подібний;  
3 – каналоподібний;  
4 – у вигляді підкови

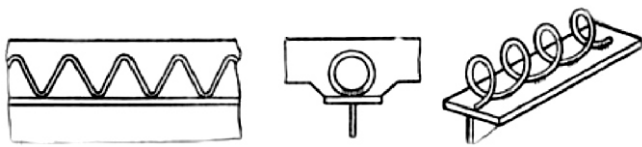


Рис. 4. Об'єднання сталі та залізобетону системою «Альфа»

У 1939 р. у Швейцарії були запатентовані балки системи «Альфа», арматурні спіралі яких приварювались до верхнього поясу для об'єднання залізобетону та сталі (рис. 4).

Перші сталезалізобетонні мости із балками системи «Альфа» були побудовані в США та Швейцарії, після чого ці конструкції набули широкого розповсюдження.

Одним із засобів забезпечення сумісної роботи є рифлення поверхні гофрованого профілю та його геометричної форми. При цьому пропонуються різні варіанти рифлення: по глибині рифів, за місцем їх розміщення та формою [11] (рис. 5).

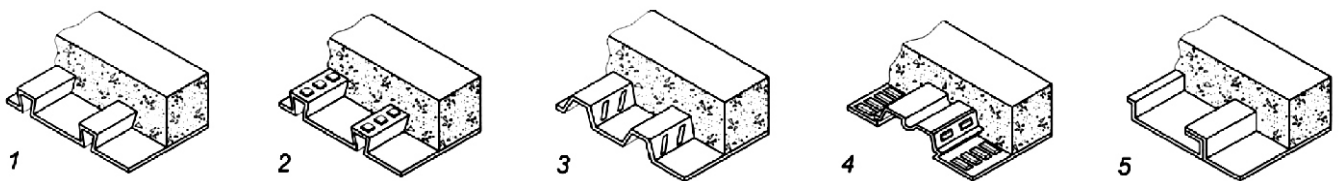


Рис. 5. Забезпечення зчеплення виштамповками та формою профлиста:

1 – механічне зчеплення; 2 – виштамповки на верхній грані; 3 – виштамповки на бокових гранях; 4 – комбінація виштамповок на нижній і бокових гранях; 5 – відігнуті частини профлиста

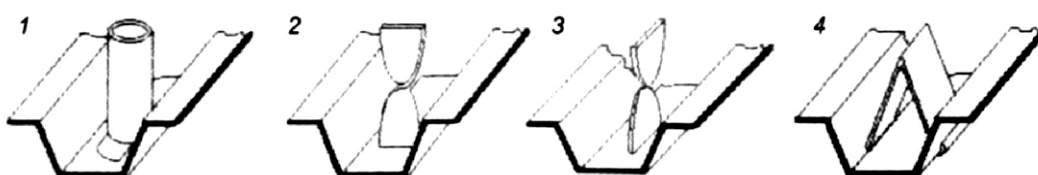
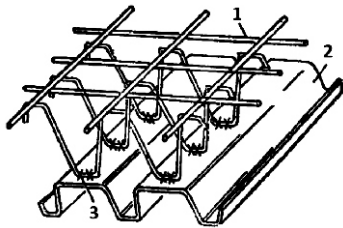


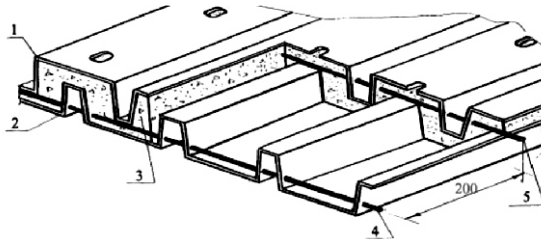
Рис. 6. Конструктивні рішення анкерів, що закріплюються на СПН без зварювання:

1–4 – типи анкерів, що встановлюються в прорізи нижньої полки СПН



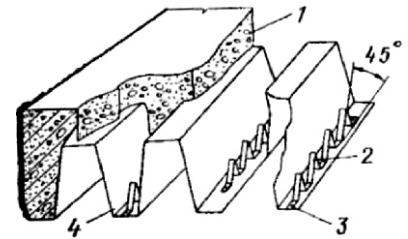
**Рис. 7. Армування просторовим стрижневим каркасом:**

1 – просторовий каркас; 2 – сталевий профільований настил; 3 – зварювальний шов



**Рис. 8. Конструктивне рішення залізобетонної плити перекриття з двома сталевими профільованими настилами та поперечними анкерами:**

1 – верхній профліст; 2 – нижній профліст; 3 – бетон; 4, 5 – поперечні анкери



**Рис. 9. Розміщення гнутих пластинчастих анкерів у гофрах профільованої листової арматури монолітного залізобетонного перекриття:**

1 – монолітна бетонна плита; 2 – гнутий пластинчастий анкер; 3 – точкове зварювання; 4 – профільований настил

Експериментальні дослідження сумісної роботи сталевого профільованого настилу із залізобетонною плитою засвідчили, що міцність сталезалізобетонних плит перекриття залежить не тільки від міцності і надійності матеріалів, а й в значній мірі від міцності зчеплення між сталевим профільованим настилем та залізобетонною плитою. Більше того, передчасне руйнування залізобетонних плит перекриття із зовнішнім армуванням у більшості випадків відбувається через відсутність анкерування у прогоні плити.

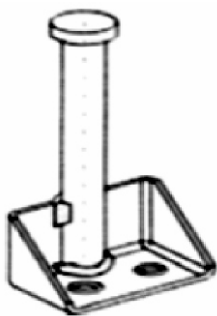
У роботі [6] тришарова плита перекриття складається з верхнього шару із важкого бетону, середнього – із поризованого бетону і гофрованого листа, до верхньої полиці якого приварений об'ємний просторовий елемент із зигзагоподібної зігнутої уздовж гофрів сітки (рис. 7). Таким чином, плита армується і в поздовжньому, і в поперечному напрямках, забезпечуючи просторову роботу плити. До недоліків такої конструкції слід віднести відсутність в'язі і, як наслідок, неможливість сумісної роботи бетону полки і ребра. З цієї метою є доцільним зигзагоподібну сітку опускати в ребро.

У роботі [3] для збільшення несучої здатності плити в поперечному напрямку запропоновано стрижневу арматуру пропускати через отвори, виконані в стінках гофр настилу (рис. 8).

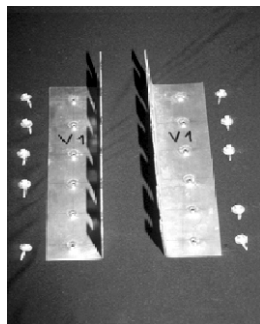
Експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованого конструктивного рішення плит, армованих двома СПН. Відносна несуча здатність вказаних плит в 1,6 разів перевищує несучу здатність плит, армованих одним сталевим настилем, а відносні прогини плит в 1,5 разів менше.

Результати випробовувань, проведених у Новокузнецькому відділенні «УралНДІбудпроект», показали, що несуча здатність конструкції цілком залежить від міцності зчеплення профільованого настилу з бетоном: руйнування всіх зразків відбувається внаслідок зсуву бетону до опори і характеризується втратою стійкості гофрів настилу по всій його ширині. Для забезпечення зчеплення у прогоні плити запропонований варіант гнутих пластинчастих анкерів (рис. 9).

Однак, при анкеруванні сталевих профільованих настилу у прогоні плити виникають труднощі: невелика товщина профільованого листа (0,4–1,0 мм) ускладнює застосування зварювання, оскільки спричиняє пропалювання, що призводить до корозії матеріалів та недостатньої міцності зварного з'єднання [10]. Інші анкерні засоби, що закріплюються на листовій арматурі за допомогою заклепок (рис. 10, 11), порушують цілісність сталевих листів, що також призводить до корозії матеріалів, та мають високу трудомісткість [12, 14].



**Рис. 10. Загальний вигляд анкерів на заклепках**



**Рис. 11. Монтаж анкерів до СПН**



Відомі випадки дослідження напружено-деформованого стану плит, де зчеплення забезпечується за допомогою приклеювання сталевих настилу до залізобетонної плити епоксидним [6] або акриловим клеєм [7].

При експериментальних випробуваннях руйнування зразків має різний характер. У випадку застосування епоксидного клею миттєве відшарування бетону і руйнування зразків відбувається без попереднього потріскування. Утворення тріщин безпосередньо свідчить про початок руйнування. Несуча здатність досліджуваних елементів, в яких використовували акрилове клейове з'єднання металу з бетоном, вища порівняно з елементами без цього з'єднання на 42 %. З'єднання бетону зі сталлю за допомогою акрилового клею забезпечує сумісну роботу обох компонентів композитної конструкції впродовж усього процесу навантаження.

У зв'язку з розширенням виробництва і застосуванням синтетичних будівельних матеріалів клеї у цій галузі промисловості відіграють значну роль. Синтетичні клеї, що здатні з'єднувати різні матеріали між собою, відкривають широкі можливості їх застосування у різних галузях будівництва.

Останніми роками в нашій країні та за кордоном набувають застосування клейові суміші на основі епоксидних смол та акрилові клейові суміші. Клеєні конструкції на основі металів, бетону, дерев'яних матеріалів застосовуються як у цивільному, так і в промисловому будівництві [4].

У 1965 р. у м. Москві збудований Шелепихинський (при будівництві – Червонопрісенський) міст через Москву-ріку, який з'єднує Шмитовський проїзд із вул. Великою Філевською (рис. 12). Трипрогоновий міст має довжину з підходами 696 м, ширину – 29 м. Русло ріки

перекриває один прогін. Кожна балка складається із 20 бетонних блоків вагою від 75 до 170 т, які з'єднані між собою лише за допомогою епоксидного клею. Шелепихинський міст є найвищим одноярусним мостом у м. Москві.

Перспективним є застосування клеїв для створення нових просторових залізобетонних конструкцій, наприклад, збірні залізобетонні сегментні елементи на епоксидному клеї застосовані для складного криволінійного покриття оперного театру в м. Сідней (Австралія) (рис. 13).

Залізобетонні блоки моста прогоном 125 м через ріку Сена (Франція) склеєні епоксидними клеями, збірні конструкції плавучого бетонно-понтонного моста через канал у штаті Вірджинія (США) з'єднані також епоксидними клеями [4].

Клеї широко застосовують для з'єднання металів у металевих мостових конструкціях. До клейових з'єднань сталевих мостових конструкцій висувають такі вимоги:

- висока міцність на зсув та відрив при статичних і динамічних навантаженнях;
- стійкість до дії перемінних температур в інтервалі від  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ;
- здатність до затвердіння без нагрівання і при малому тиску;
- стійкість до старіння і викришування, впливу навколишнього середовища;
- простота підготовки поверхні для склеювання.

У Німеччині збудований суцільноклейовий металевий міст (прогоном 55,8 м), у конструкціях якого використаний епоксидний клей холодного твердіння [4]. Елементи конструкції клеєного моста аналогічні звичайним будівельним конструкціям. Для спостереження за станом клейових з'єднань на поверхню моста нанесено прозоре покриття, яке повинно утворювати тріщини при руйнуванні клейових з'єднань.



Рис. 12. Шелепихинський міст



Рис. 13. Оперний театр у м. Сідней

З використанням епоксидного клею, що твердне при кімнатній температурі, у Німеччині зведено суцільноклейовий міст через канал Ліппе [4].

Для з'єднань, які перебувають під дією відносно великих тривалих навантажень, температурних коливань тощо, застосовують конструкційні клеї, до яких висуваються особливо високі вимоги. Так, на міжнародній конференції «Інтерметалбонд – 74» розглядалась конструкція параболічної антени наземного радіолокатора, яка має витримувати цілорічну дію атмосферних впливів, протистояти швидкості вітру до 160 км/год і піддаватися мінімальній деформації за цих умов. Довговічність антени повинна складати від 10 до 20 років. Цим вимогам відповідає тришарова конструкція з епоксидного шаруватого склопластику і алюмінієвого сотового заповнювача, який має чарунки із довжиною сторони 8 мм. Шаруватий пластик склеювали із сотовим середнім шаром епоксидним клеєм, наповненим аеросилом і алюмінієвим порошком.

У Чехії був побудований суцільноклейовий експериментальний металевий міст, який демонстрували на промисловій виставці у м. Брно в 1956 р. Міст виконаний із алюмінієвого сплаву і склеєний епоксидним клеєм, який твердне без нагрівання.

Метод з'єднання будівельних матеріалів склеюванням порівняно з іншими методами має суттєві переваги, а саме:

- рівномірне розподілення напружень у з'єднанні, яке досягається завдяки зусиллю, що діє на всю площину прилягання матеріалів;
- зниження ваги елементів внаслідок зменшення кількості фасонки і накладних деталей порівняно як зі зварними, так і заклепувальними з'єднаннями;
- повний захист від корозії площин, що прилягають одна до одної.

Склеювання – один із ефективних методів з'єднання конструкційних матеріалів, воно не послаблює робочий переріз елементів отворами, врізаннями і тому забезпечує більш рівномірне розподілення напружень у вузлах під впливом навантажень.

**Висновки.** Передчасне руйнування сталезалізобетонних плит у більшості випадків відбувається через відсутність анкерування у прогоні плити. Часто застосування клеєних конструкцій є єдиним можливим варіантом. Анкери на високонструкційних клейових з'єднаннях можливо використовувати в комбінації із анкерами, які приварюють до сталевих поясів перекриття. Застосування клеїв дає можливість суттєво знизити трудомісткість виготовлення конструкцій та пришвидшити процес будівництва.

Для широкого впровадження клеєних конструкцій у практику будівництва необхідно досліджувати поведінку таких конструкцій та їх з'єднань в умовах змінних температур, а також клейових з'єднань під дією статичного і динамічного навантажень та інших факторів.

- 
- |  |  |
|--|--|
| <p>[1] Айрумян Э.Л. Армирование монолитной железобетонной плиты перекрытия стальным профилированным настилом // Э.Л. Айрумян, И.А. Румянцева // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 4. – С. 25–29. – Библиогр.: 8 назв.</p> <p>[2] Балабух Я.А. Работа анкерных з'єднань залізобетонної плити і балок сталезалізобетонних мостів // Дороги і мости: збірник наукових праць, Вип. 10. – К.: ДерждорНДІ, 2008. – С. 5–8.</p> <p>[3] Беляева С.Ю. Прочность и деформативность железобетонных плит, армированных стальным профилированным настилом и перечеными анкерами: Дис... канд. техн. наук: ДГТУ. – Алчевск, 2006. – 165 с.</p> <p>[4] Кардашов Д.А. Синтетические клеи. – М., «Химия», 1976. – 503 с.</p> <p>[5] Козарь В.І. Монолітні залізобетонні плити по сталевому профільованому настилу: Дис... канд. техн. наук: Полтавський держ. технічний ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 1999. – 186 с. – Библиогр.: С. 158–179.</p> <p>[6] Санников И.В. Исследование монолитных железобетонных плит с листовой гофрированной арматурой: Дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – К., 1982. – 153 с.</p> <p>[7] Стороженко Л.І. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільованому настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання. // Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб // Теорія і практика будівництва: [зб. наук. пр.] – Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 365 с.: іл. – (Вісник/Національний університет «Львівська політехніка»; № 662). – Библиогр. в кінці розд. – С. 360–365.</p> <p>[8] Abera Dugassa «Optimal design of profiled steel sheet for composite slab», Masters degree thesis, Addis Ababa University School of Graduate Studies, Faculty of Technology Department of Civil Engineering. – 2005.</p> | <p>[9] Ali Shariati, N.H. Ramlisulong, MeldiSuhatri and Mahdi Shariati «Various types of shear connectors in composite structures». International Journal of Physical Sciences. – Malaysia, Department of Civil Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur. 9 June, 2012. – Vol. 7(22).</p> <p>[10] C. Thomas Mccavour «Composite concrete metal encased stiffeners for metal plate archetype structures». Patent WO1997047825A1. March 1999.</p> <p>[11] Eurocode 4, ENV 1994-1-1, Final Draft (2002): «Design of composite steel and concrete structures, Part 1-1»: General rules and rules for buildings, January 2002</p> <p>[12] Prof. Dr. Mario Fontana, Roland Bdrtschi New «Types of Shear Connectors with Powder-Actuated Fasteners», Institute of Structural Engineering Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, December 2002.</p> <p>[13] RODERA GARCIA, AIDA «Design of composite beams using light steel sections» Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Departament d'Enginyeria de la Construcció, 2004 (Enginyeria de Camins, Canals i Ports), 2004. – Vol. 199.</p> <p>[14] R.P. Johnson «Composite Structures of Steel and Concrete» Vol.1, Blackwell Scientific Publications, UK, 1994.</p> <p>[15] Slobodan Rankovic, Dragoljub Drenic «Static strength of the shear connectors in steel-concrete composite beams». Architecture and Civil Engineering Vol. 2, No 4, 2002, pp. 251–259.</p> |
|--|--|

Надійшла 26.03.2013 р.