

УДК 624.074:[624.012.4+624.014.2]

**МІСЦЕВА СТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ СТІНОК
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

д.т.н., проф. Стороженко Л.І., д.т.н., проф. Семко О.В., к.т.н. Лапенко О.І.,
аспірант Мурза С.О., Авраменко Ю.О.

*Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка*

Постановка проблеми. Поряд із залізобетонними вже понад сто років застосовуються сталезалізобетонні конструкції, що поєднують у собі залізобетон та сталеві прокатні профілі. Ці конструкції надзвичайно різноманітні, вони застосовуються при будівництві згинальних і стиснутих конструкцій, плит, їх застосовують при зведенні різноманітних споруд. Сталезалізобетонні конструкції мають багато переваг, основна з них – це можливість виробляти та будувати залізобетонні конструкції без використання опалубки, тому що її функції може успішно виконувати арматура зі сталевих профілів.

Аналіз останніх досліджень. Сталезалізобетонні конструкції надзвичайно різноманітні: це стояки й колони, балки й ригелі, плити покриттів і перекриттів, просторові конструкції. Вони застосовуються при будівництві згинальних і стиснутих конструкцій, їх використовують при зведенні різноманітних споруд.

Застосування листової арматури в стиснуто-зігнутих конструкціях дозволяє знизити витрати на опалубочні роботи, спростити процес зведення колон, монолітних та збірних покриттів будівель і споруд. Для сталезалізобетонних згинальних конструкцій питання тріщиностійкості (поява і розкриття тріщин) в розтягнутій зоні в процесі експлуатації менш актуальне, а то і зовсім відсутнє. Листове армування виключає застосування багаторядного розташування арматури, що дозволяє економити сталь та значно спрощує процес бетонування. Відкрита частина листової арматури дозволяє спростити конструктивні рішення по підсиленню сталезалізобетонних конструкцій при збільшенні корисного навантаження, а також використовувати листову арматуру в якості закладних деталей стиків, різних комунікацій і обладнання [2-5].

Однак при виготовленні згинальних елементів із зовнішнім листовим армуванням необхідно забезпечити надійну роботу щодо зчеплення між сталевим листом та бетоном.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Зовнішня арматура у вигляді сталевих листів дозволяє ефективно використовувати залізобетонні конструкції з великим відсотком армування при обмежених розмірах перерізу. Ці конструкції мають суттєві переваги при проектуванні та будівництві різних будівель і споруд. Але до цього часу не вирішена проблема втрати місцевої стійкості сталевих стінок для таких елементів.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є дослідження питання місцевої стійкості сталевих стінок сталезалізобетонних конструкцій з листовою арматурою.

Виклад основного матеріалу.

На початку впровадження залізобетону смужкову і листову сталь не застосовували в якості зовнішньої арматури, тому що її зв'язки з бетоном по контакту ще не були вирішені. Інженерна думка була направлена на пошук арматури самоанкеруючої в масі бетону: залізобетонні конструкції зі стержневою і дротовою арматурою різного виду профілю, а також конструкції, армовані пучками канатів і так званою несучою жорсткою і трубчатою арматурою. Але в останні роки в якості арматури залізобетонних конструкцій почали широко використовувати листову сталь. Основними напрямками використання є:

- армування огорожуючих і несучих конструкцій будівель і споруд, до яких пред'являються вимоги непроникності рідин, газів і різних випромінювань;
- опалубки при виготовленні монолітних і збірно-монолітних залізобетонних конструкцій з використанням її після затвердіння бетону в якості несучої арматури;
- армування балочних лінійних елементів (ригелі, балки покриття і перекриття, підкранові балки, ферми, ребристі балочні плити і ін.) і колон з метою зменшення маси, розмірів перерізу або отримання економії сталі;
- підсилення балочних і других елементів.

Сталезалізобетонні конструкції мають суттєві переваги при проектуванні й будівництві різних будівель та споруд. Але при їх проектуванні виникають питання щодо визначення кількості арматури, розмірів поперечного перерізу та способів армування. Невирішені питання при проектуванні таких конструкцій змушують використовувати наближені методи розрахунку, які призводять до зайвих витрат матеріалів, а в деяких випадках і до недостатньої надійності конструкцій. Для підвищення ефективності й більш широкого розповсюдження конструкцій із зовнішнім листовим армуванням необхідна розробка відповідної теорії і методів розрахунку.

Наявність доволі досконалих і добре обумовлених теоретичних моделей дасть змогу підвищити рівень розрахунково-теоретичного обґрунтування при проектуванні сталезалізобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням, призначених для масового застосування.

Стінки сталезалізобетонних конструкцій з листовим армуванням мають значну гнучкість, що може призвести до місцевої втрати стійкості, а як наслідок до втрати несучої здатності усієї конструкції. Тому економічне проектування таких конструкцій неможливо без застосування ребер жорсткості, що дозволяють суттєво знизити критичне навантаження. Отже поздовжні або поперечні ребра жорсткості або їх комбінація відіграють важливу роль при проектуванні стінок, які є у даному випадку підкріпленими пластинками. Ця обставина викликала необхідність проведення досить складних теоретичних та експериментальних досліджень підкріплених

пластинок при дії різних контурних навантажень [4]. Характер руйнування таких конструкцій показано на рис.1.

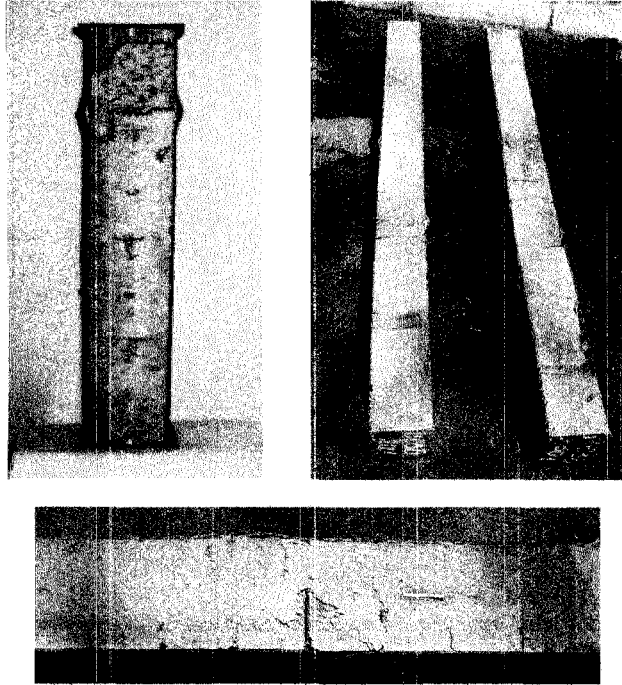


Рис.1. Характер руйнування сталезалізобетонних конструкцій із листовим армуванням

У тонкостінних балках стінка або полиця можуть втратити стійкість раніше, ніж відбувається втрата стійкості балки в цілому. Втрата стійкості одним із елементів перерізу балки (місцева втрата стійкості) та вихід його з роботи різко послаблюють балку, часто роблячи недеформовану частину перерізу несиметричною, оскільки центр згину при цьому зміщується, балка починає закручуватись та швидко втрачає стійкість.

Для того, щоб одержати більш надійний висновок із погляду стійкості стінки, повинна бути розглянута теорія стійкості (випучування) тонкої пластинки, що завантажена нормальними напруженнями в її площині. Для того щоб отримати раціональну основу для проектування, необхідно провести вивчення пружної стійкості тонких стінок.

При вирішенні задач місцевої стійкості вважають, що окремі елементи, з яких складається переріз балки, працюють, як пластинки, що з'єднані між собою шарнірно, пружно або жорстко[1].

Критичну силу втрати стійкості за методикою Б.М. Броуде знаходять використовуючи два методи:

1. Інтегрування диференціального рівняння рівноваги пластинки, що має вигляд:

$$D \left(\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} \right) + \sigma t \left(1 - \alpha \frac{y}{b} \right) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + p(x, y) t \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - 2 \tau t \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} = 0 \quad (1)$$

де $p(x, y)$ вказує на те, що місцеві напруження є функцією обох координат.

2. Відшукування максимуму потенціальної енергії за допомогою наближеного виду викривленої поверхні (метод Ритца-Тимошенко).

Критична сила залежить від пружних властивостей матеріалу, розмірів пластинки, товщини та умов закріплення її по краям.

$$N_{cr} = \frac{k \pi^2 D}{b^2} \quad (2)$$

де k — коефіцієнт, який залежить тільки від α та відношення довжини сторін пластинки $\mu = \frac{a}{b}$

D — циліндрична жорсткість пластинки;

ν — коефіцієнт Пуассона;

a та b — довжина та ширина пластинки.

Відповідно критичні напруження будуть дорівнювати:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{bt} = \frac{k \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (3)$$

Для того щоб місцева стійкість не обмежувала несучої здатності елемента, діючі в пластинці напруження не повинні перевищувати σ_{cr} .

Для згинальних елементів, відповідно, критичний згинальний момент буде:

$$M_{cr} = \sigma_{cr} W \quad (4)$$

де W — момент опору зведеного перерізу.

Найбільш ефективне рішення для розглянутого класу задач дає енергетичний метод. У цьому методі припускається, що пластинка, яка завантажена силами, котрі діють в її серединній площині, має невеликий поперечний згин. Такий згин може виникнути без поздовжніх деформацій серединної площини, при цьому слід розглядати тільки енергію згину та відповідну роботу, яка виконується силами, що діють у серединній площині [1].

Отже якщо V означає роботу внутрішніх сил при викривленні пластинки, а $T\chi$ — роботу зовнішніх сил на переміщеннях (χ — власне значення параметру критичного навантаження), що відповідає викривленню, то умова екстремуму має вигляд:

$$V - \chi T = 0 \quad (5)$$

Величина $V-T$ являє собою приріст потенційної енергії системи при відхиленні від початкової площини. При стійкій рівновазі потенційна енергія

має мінімум, тобто $V-T>0$; при нестійкій рівновазі досягається максимум потенційної енергії, тобто $V-T<0$; критичне положення знаходиться на межі обох нерівностей, звідси: $V-T=0$.

Для прямокутної пластинки роботу внутрішніх сил можна записати у вигляді:

$$V = \iint_{\Omega} \left\{ \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\varepsilon) \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy, \quad (6)$$

де Ω – область інтегрування (прямокутник зі сторонами a і b).

Робота зовнішніх сил при дії трьох факторів дорівнює:

$$T = \iint_{\Omega} \left[\frac{\sigma}{2} \left(1 - \frac{\alpha y}{b} \right) \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \frac{p(x, y)}{2} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \tau \frac{\partial \omega}{\partial x} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \right] dx dy, \quad (7)$$

Для сталезалізобетонних конструкцій взагалі та із зовнішнім листовим армуванням, зокрема проблема місцевої стійкості сталевих стінок є досить актуальною. Методики щодо її розрахунку в нашій країні не існує, тому були розглянуті існуючі методики розрахунку сталевих стінок взагалі. В розрахунках на стійкість сталевих листів прийнято представляти його як пластинку, що розташована між поясами і сусідніми поперечними основними ребрами жорсткості.

Література

1. Броуде Б.М. Устойчивость пластинок в элементах стальных конструкций. / Броуде Б.М. – М.: издательство и типография Машстройиздата в Лгр., 1949. – 240 с.
2. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. / Клименко Ф.Е. – К.: Будівельник, 1984. – 88с.
3. Сколибог О.В. Сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее // Сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции. – Часть 2. – К.: Изд-во „Сталь”, 2004. – С. 21-28.
4. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія. / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 312с.
5. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Проектування й будівництво сталезалізобетонних конструкцій в незнімній опалубці // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» – вип. 67. – Київ, НДІБК, 2007. – С. 750 -758.