



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

**77-ї НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРОФЕСОРІВ,
ВИКЛАДАЧІВ, НАУКОВИХ ПРАЦІВНИКІВ,
АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ УНІВЕРСИТЕТУ**

16 травня – 22 травня 2025 р.

ЗБІЛЬШЕННЯ МІЦНОСТІ НА ЗГИН МЕТАЛЕВИХ БАЛОК ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ ПЕРЕРІЗУ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ ДОДАТКОВИМ АРМУВАННЯМ У ВИГЛЯДІ ПОЗДОВЖНІХ СТЕРЖНІВ ЧИ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ПРОКАТУ

При підсиленні розтягнутих зон перерізів металевих балок додатковими сталевими елементами із прокату чи арматурними стержнями у вигляді горизонтальних чи шпренгельних затяжок виникає ряд факторів, які безпосередньо впливають на їх міцність і разом не враховуються при їх розрахунку, а саме:

- рівень навантаження металевих балок під час підсилення;
- міцності характеристики матеріалу металевих балок та додаткових поздовжніх елементів підсилення;
- нерівномірний розподіл зусиль в перерізах балки, що підсилюється, та в додаткових поздовжніх елементах її посилення на різних стадіях їх напружено-деформованого стану (при підсиленні і при руйнуванні).

Критерієм раціонального підбору площі перерізу додаткових арматурних стержнів чи сталевих елементів (A_{sd}) при забезпеченні міцності на згин металевої балки, що підсилюється без попереднього повного чи часткового зняття навантаження, є стадія напружено-деформованого стану (див. рис. 1), при якій відбувається одночасне досягнення в її розрахунковому перерізі величин граничних напружень, а саме: досягнення в крайньому волокні стисненої зони металевої балки величини напружень σ_a рівних розрахунковому значенню границі текучості матеріалу балки f_a ; досягнення в додаткових арматурних стержнях величини напружень (σ_{sd}) рівних розрахунковому опору арматурної сталі на розтяг f_s .

Площу перерізу додаткових поздовжніх арматурних стержнів (A_{sd}) чи сталевих елементів підсилення (A_{ad}) визначаємо за залежностями при дотриманні умов вище зазначеного критерію, коли складений комбінований розрахунковий переріз балки буде експлуатуватися в пружній стадії, тобто при $\sigma_a = \sigma_s = f_a$ і $\sigma_{sd} = f_{sd}$ чи при $\sigma_a = \sigma_s = f_a$ і $\sigma_{ad} = f_{ad}$:

$$A_{sd} = (M - 2/3 \times [h_{red} \times (N_c - N_p) + N_p h]) / (f_{sd} a_0), \quad (1)$$

$$N_c = 0,5 \times \Delta\sigma \times h_{red}; \quad N_p = 0,5 \times \sigma_H \times (h - h_{red}); \quad a_0 = h/2 + C - h_{red}; \quad (2)$$

$$\Delta\sigma = f_a - \sigma_0; \quad \sigma_0 = M_0 / W_x; \quad \sigma_H = \Delta\sigma \times (h - h_{red}) / h_{red}; \quad (3)$$

$$A_{sd} = (M - \Delta\sigma \times h \times [h_{red}^2 - h \times h_{red} + 1/3 \times h^2]) / (f_{sd} a_0), \quad (4)$$

$$h_{red} = [A_a \times h/2 + A_{sd} \times (h/2 + C)] / (A_a + A_{sd}), \quad (5)$$

де M_0 , M – відповідно початковий і розрахунковий згинальні моменти в перерізах металевої балки від зовнішніх діючого при підсиленні та повного навантаження на ділянці згину; h – робоча висота перерізу металевої балки, що підсилюється; C – відстань між геометричними горизонтальними осями додаткової поздовжньої арматури чи горизонтального елемента із прокату та перерізу металевої балки, що підсилюється; h_{red} – висота від верхньої стиснутої грані складеного приведенного перерізу балки, що підсилюється, до його геометричної горизонтальної осі; a_0 – відстань між геометричними горизонтальними осями додаткової поздовжньої арматури чи горизонтального елемента із прокату та складеного приведенного перерізу металевої балки, що підсилюється; σ_0 – напруження в крайньому волокні стиснутої зони перерізу балки від дії початкового навантаження, при якому здійснюється її підсилення; $\Delta\sigma$, σ_H – напруження відповідно у верхньому та нижньому волокні складеного приведенного перерізу металевої балки, що підсилюється, при граничному напружено-деформованому стані в пружній стадії; A_a , W_x – площа перерізу та момент опору відносно горизонтальної вісі металевої балки, що підсилюється; f_a – розрахунковий опір на розтяг чи стиск металевої балки згідно норм [1] залежно від її марки сталі; f_{sd} (f_{ad}) – розрахунковий опір на розтяг додаткових арматурних стержнів чи горизонтального елемента із прокату відповідно норм [2] чи [1].

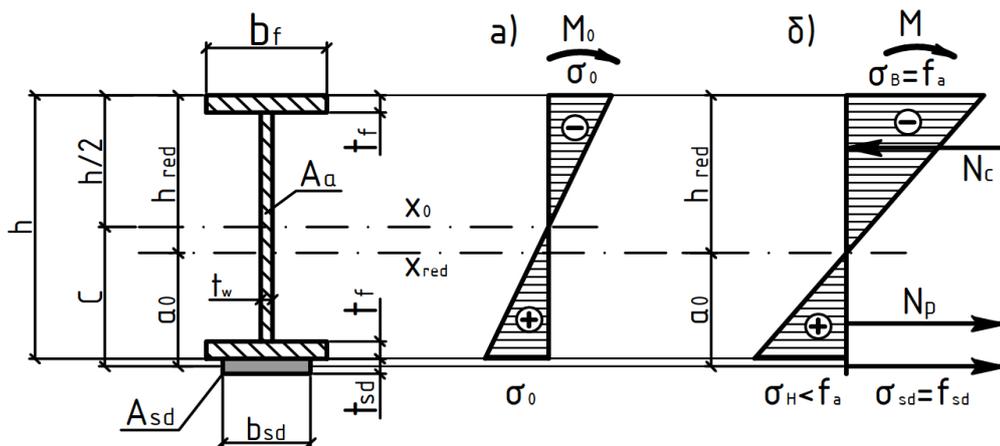


Рис. 1 Напружено-деформований стан приведенного комбінованого перерізу металевої балки, що підсилюються шляхом нарощування перерізу в розтягнутій зоні додатковим армуванням у вигляді поздовжніх арматурних стержнів чи елементів із прокату: а) при дії експлуатаційного навантаження, при якому здійснюється підсилення балки; б) при дії повного розрахункового навантаження в граничній пружній стадії

Визначення площі перерізу додаткових арматурних стержнів чи сталевих елементів (A_{sd}), якими виконується підсилення перерізів металевої балки в розтягнутій зоні, ускладнене кількістю невідомих величин ($x_i \geq 3$), які взаємо пов'язані між собою, і можливе лише при поетапному прийнятті величини одного із невідомих компонентів, що призводить до додаткових трудовитрат при розрахунку і безлічі рішень, які не завжди є ефективними економічно. Тому для удосконалення методики розрахунку необхідної площі перерізу елементів підсилення були запропоновані додаткові коефіцієнти n і k , якими було враховане відношення площі додаткового армування A_{sd} до площі металевої балки A_a , що підсилюється:

$$n = A_{sd} / A_a; \quad k = n / (1+n). \quad (6)$$

Величину коефіцієнта k визначаємо за залежностями (7)-(9):

$$\Delta\sigma \times h \times C \times k^2 - A_a \times f_{sd} \times C \times k + M - 1/12 \times \Delta\sigma \times h^3 = 0; \quad (7)$$

$$D = A_a \times f_{sd} \times C + 4 \times \Delta\sigma \times h \times C \times (M - 1/12 \times \Delta\sigma \times h^3); \quad (8)$$

$$k_{1,2} = \frac{A_a \times f_{sd} \times C \pm \sqrt{D}}{2 \times \Delta\sigma \times h \times C}. \quad (9)$$

Площа перерізу поздовжнього елемента підсилення із арматурних стержнів чи прокату буде становити:

$$A_{sd} = n \times A_a; \quad n = k / (1-k). \quad (10)$$

Перевірку міцності на згин в розрахункових перерізах металевої балки, підсиленої під навантаженням додатковим армуванням в розтягнутій зоні у вигляді поздовжніх стержнів чи елементів прокату, виконуємо за залежностями (11) і (12):

$$M \leq \Delta\sigma \times h \times [h_{red}^2 - h \times h_{red} + 1/3 \times h^2] + f_{sd} \times A_{sd} \times a_0; \quad (11)$$

$$h_{red} = 0,5 \times h + n \times C / (1+n) = 0,5 \times h + C \times k; \quad a_0 = C \times (1 - n / (1+n)) = C \times (1 - k). \quad (12)$$

Подальші наукові дослідження будуть присвячені розробці типових конструктивних рішень з підсилення металевих балок шляхом нарощування їх перерізу в розтягувальній зоні, в основу яких будуть покладені залежності між коефіцієнтами n , k та параметрами величин: рівнем навантаження при підсиленні (величини M_0 , σ_0); площі перерізу балки (A_a); відстані між горизонтальними геометричними осями металевої балки, що підсилюється, і поздовжніми елементами її підсилення (C); максимальної міцності на згин (M) та довжини прогону балки (L).

Література

1 ДБН В.2.6-198:2014 зі Зміною №1. Сталеві конструкції. Норми проектування / Наказ Мінрегіону України від 10.06.2014 р. №167, чинні з 01.01.2015 р. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 205 с.

2 ДБН В.2.6-98:2009 зі Зміною №1. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення / Наказ Мінрегіонбуду України від 24.12.2009 р. № 680, введені в дію з 01.07.2011 р., зміни чинні з 01.06.2020 р. – К.: Мінрегіон України, 2020. – 71 с.