

*Васильченко О.В., канд.техн.наук, доцент,
Максимов Д.В., курсант
Національний університет цивільного захисту України*

ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ДЕФЕКТІВ ЗВАРНОГО ШВА НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ СТАЛЕВОЇ БАЛКИ

У сучасних умовах значна частина сталевих конструкцій виготовляється за допомогою зварювання. Від стану зварних швів залежить міцність та надійність основних несучих елементів конструкцій – колон, ферм, балок.

Наявність у зварних швах дефектів (як допущених при виготовленні конструкцій, так і утворених в результаті експлуатації або навіть при надзвичайних ситуаціях) може вплинути на стійкість конструкцій. І якщо в нормальних умовах вплив дефектів у зварних швах вивчений та враховується при розрахунках і конструюванні будівельних деталей [1, 2], то цей вплив при впливі високих температур під час пожежі потребує додаткової уваги [3, 4].

Одними з найважливіших конструкцій сталевого каркаса, що зумовлюють його міцність, є головні балки балкової клітки. Для промислових будівель з великими прольотами головні балки зазвичай виконують складеними двотаврового перерізу. Частини балки з'єднують за допомогою автоматичного зварювання з подальшим контролем якості для виявлення та усунення дефектів. З'єднанню полиць зі стінкою двотавра приділяється особлива увага як до місця концентрації механічної напруги (наприклад, у зварених підкранових балках понад 60 % тріщин виникає в районі зварного шва верхнього пояса [5]).

У довгомірних складених виробках, що працюють при статичному навантаженні, площа дефектної зони до 20 % площі поперечного перерізу шва мало впливає на міцність з'єднання [5]. Очікується, що при незначному робочому навантаженні і більша кількість дефектів не викличе критичного ослаблення конструкції. Однак, при дії високої температури (наприклад, під час пожежі) ситуація може різко погіршитися.

Вогнестійкість зварного шва можна охарактеризувати критичною температурою, що залежить від співвідношення напруги у шві та межі опору металу на границі сплавлення. Це співвідношення виражається коефіцієнтом зміни міцності сталі шва складеної зварної балки при нагріванні γ_T :

$$\gamma_T = \frac{\tau_z}{R_{cp}},$$

Для розрахунків впливу дефектів необхідно врахувати багато чинників, що неможливо. Тому при розрахунках пропонується зробити такі припущення:

1. При автоматичному зварюванні відсутні порушення форми шва.
2. У зварному шві експлуатованої складової балки присутні мікродефекти, що не виявлені ультразвуковим контролем, і дефекти, що утворилися в результаті експлуатації балки.
3. Відносна сумарна площа дефектів у перерізі зварного шва визначається як $\alpha_{ш} \cdot 100 \%$:

$$\alpha_{ш} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{i,деф}}{A_{ш}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де $A_{i,деф}$ – максимальна площа перерізу дефекту, що перетинає шар Δx , що примикає до січної площини зварного шва; $A_{ш}$ – площа перерізу зварного шва.

4. Межа опору металу електрода дорівнює межі опору металу балки.

5. Статичний момент пояса щодо нейтральної осі балки S_f визначається як:

$$S_f = b_f \cdot \delta_f \frac{(h_w + \delta_f)}{2} + \frac{\delta_w h_w^2}{8}, \quad (3)$$

где b_f – ширина пояса; δ_f – товщина пояса; δ_w – товщина стінки; h_w – висота стінки.

На підставі висловлених припущень дотичні напруги в зварному поясному шві з урахуванням дефектів, застосувавши формулу Журавського, можна представити у вигляді:

$$\tau_z = \frac{Q \cdot S_f}{\alpha_{ш} \cdot I_x \cdot 2k_f \cdot \beta_z \cdot \gamma_{wf}}, \quad (4)$$

де Q – навантаження на опори; S_f – статичний момент пояса відносно нейтральної осі балки; I_x – момент інерції балки відносно нейтральної осі; k_f – розмір катета зварного шва; β_z – коефіцієнт глибини проплавлення шва при розрахунку границі сплавлення; γ_{wf} – коефіцієнт умов роботи шва, $\gamma_{wf}=1$.

Після цього на підставі формули (1) легко визначається критична температура в зварному поясному шві з урахуванням дефектів.

Для прикладу були проаналізовані складені зварні балки з різним погонним навантаженням.

Розрахунки показали, що характер зміни критичної температури шва аналогічний для всіх балок. Також відмічено, що різке зниження критичної температури починається при відносній сумарній площі дефектів у перерізі зварного шва 30...40 %, коли відношення τ_{z0}/τ_{za} наближається до діапазону значень 1,2...1,3 (τ_{z0} – дотичні напруги за відсутності дефектів; τ_{za} – дотичні напруги при відносній сумарній площі дефектів $\alpha_{ш} \cdot 100\%$).

Таким чином, на прикладі показано, що кількість мікротріщин і дефектів у зварному поясному шві в межах 30...40 % від площі перерізу шва незначно знижує його критичну температуру. Різке зниження критичної температури починається за відносної сумарної площі дефектів у перерізі зварного шва, коли відношення дотичних напруг τ_{z0}/τ_{za} наближається до діапазону значень 1,2...1,3.

ЛИТЕРАТУРА

1. On the effect of weld defects on the fatigue strength of beam welded butt joints / Ann-Christin Hesse Thomas Nitschke-Pagel // Procedia Structural Integrity. Volume 13, 2018, Pages 2053-2058.
2. Otrosh, Y., Kovalov, A., Semkiv, O., Rudeshko, I., Diven, V. (2018). Methodology remaining lifetime determination of the building structures. MATEC Web of Conferences, 230, 02023.
3. Голоднов О.І. Про необхідність розрахунку будівель зі сталевим каркасом на температурні впливи / Голоднов О.І., Антошина Т.В., Отрош Ю.А. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. Київ, 2017. Вип. 20. С. 65-84.
4. Vasilchenko A., Doronin E., Ivanov B., Konoval V. Effect of residual deformation of a steel column on its fire resistance under combined exposure "explosion-fire" // Materials Science Forum. 2019. Vol. 968. P.288–293.
5. Васильченко А.В. Влияние дефектов сварного шва на огнестойкость составной стальной балки / Васильченко А.В., Савченко А.В., Ковалевская Т.М. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2019. – Вып. 45. – С. 22-26.