

*А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, доцент каф., НУГЗУ,
А.В. Савченко, к.т.н., с.н.с., зам. нач. каф., НУГЗУ,
Т.М. Ковалевская, преподаватель, НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО ШВА НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ СОСТАВНОЙ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ

(представлено д.т.н. Поздеевым С.В.)

Расчетные оценки показали, что количество микротрещин и дефектов в поясных сварных швах составной стальной балки в пределах 30...40 % от площади сечения шва незначительно снижает его критическую температуру. Резкое снижение критической температуры начинается, когда отношение касательных напряжений бездефектного шва к касательным напряжениям шва с дефектами приближается к диапазону значений 1,2...1,3.

Ключевые слова: стальная составная балка, дефекты сварного шва, критическая температура.

Постановка проблемы. Стальные каркасы широко применяются в промышленных зданиях, которые часто являются одновременно объектами повышенной опасности. В этом случае требуется уделять повышенное внимание обеспечению огнестойкости стальных конструкций.

В современных условиях значительная часть стальных конструкций изготавливается с помощью сварки. От состояния сварных швов зависит прочность и надежность основных несущих элементов конструкций – колонн, ферм, балок.

Наличие в сварных швах дефектов (как допущенных при изготовлении конструкций, так и образовавшихся в результате эксплуатации или даже при чрезвычайных ситуациях) способно повлиять на устойчивость конструкций. И если в нормальных условиях влияние дефектов в сварных швах изучено и учитывается при расчетах и конструировании строительных деталей [1, 2], то это влияние при воздействии высоких температур во время пожара требует дополнительного внимания [3, 4].

Решение проблемы – оценки огнестойкости сварных швов при наличии в них дефектов позволит повысить надежность расчетов для стальных конструкций и выработать дополнительные мероприятия для обеспечения их безопасной эксплуатации.

Анализ последних исследований и публикаций. Одними из важнейших конструкций стального каркаса, обуславливающими его прочность, являются главные балки балочной клетки. Для промышленных зданий с большими пролетами главные балки обычно выполняют составными двутаврового сечения. Части балки соединяют при помощи автоматической сварки с последующим контролем качества для выяв-

ния и устранения дефектов. Соединению полка со стенкой двутавра уделяется особое внимание как к месту концентрации механических напряжений (например, в сварных подкрановых балках более 60 % трещин возникает в районе сварного шва верхнего пояса [5]).

Дефекты сварного шва образуются при изготовлении стальных конструкций и в процессе их эксплуатации. Это нарушения формы шва, подрезы, наплывы, прожоги, свищи, непровары, трещины, поры, посторонние включения. Практически все они снижают прочность соединений. К наиболее опасным дефектам относят трещины, непровары и подрезы.

Контроль качества сварных швов осуществляют визуально и с помощью физических методов, среди которых наиболее массовым является ультразвуковой. Однако, разрешающая способность приборов контроля зависит от размера и ориентации дефектов. Поэтому даже при тщательном контроле могут оставаться незамеченными дефекты до 1...2 мм [6], уменьшающие эффективное сечение шва, и, значит, снижающие его прочность.

Замечено, что в длинномерных составных изделиях, работающих при статической нагрузке, площадь дефектной зоны до 20 % от площади поперечного сечения шва мало влияет на прочность соединения [6]. Можно ожидать, что при незначительной рабочей нагрузке и большее количество дефектов не вызовет критического ослабления конструкции. Однако, при воздействии высокой температуры (например, при пожаре) ситуация может резко ухудшиться.

Постановка задачи и ее решение. Задачей работы является выявление зависимости критической температуры сварного шва составной балки в соединении полки и стенки двутавра от количества дефектов шва.

Поясные швы составной балки обеспечивают совместную работу поясов и стенки, предотвращая их взаимный сдвиг при изгибе. Возникающие сдвигающие силы создают касательные напряжения, максимально возрастающие на концах балки (на опорах). Условие прочности описываются преобразованной формулой Журавского [7]

$$\tau_z = \frac{Q \cdot S_f}{I_x \cdot 2k_f \cdot \beta_z \cdot \gamma_{wf}} \leq R_{cp} \gamma_c, \quad (1)$$

где τ_z – касательные напряжения в пояском сварном шве; Q – нагрузка на опоре; S_f – статический момент пояса относительно нейтральной оси балки; I_x – момент инерции балки относительно нейтральной оси; k_f – размер катета сварного шва; β_z – коэффициент глубины проплавления шва при расчете по границе сплавления; R_{cp} – расчетное сопротивление среза сварного шва при расчете по границе сплавления; γ_{wf} – коэффициент условий работы шва, $\gamma_{wf}=1$; γ_c – коэффициент условий работы балки, $\gamma_c=1$.

Огнестойкость сварного шва можно охарактеризовать критической температурой, зависящей от соотношения напряжения в шве и предела сопротивления металла на границе сплавления. Это соотношение выражается коэффициентом изменения прочности стали поясного шва сварной составной балки при нагревании γ_T [8]

$$\gamma_T = \frac{\tau_z}{R_{cp}}. \quad (2)$$

Во всех предыдущих рассуждениях не учитывалось наличие дефектов в сварных швах. Для расчетов влияния дефектов необходимо учесть много факторов, что практически невозможно. Поэтому при расчетах предлагается сделать следующие допущения:

1. При автоматической сварке отсутствуют нарушения формы шва.
2. В сварном шве эксплуатируемой составной балки присутствуют микродефекты, не обнаруженные ультразвуковым контролем, и дефекты, образовавшиеся в результате эксплуатации балки.
3. Относительная суммарная площадь дефектов в сечении сварного шва определяется как $\alpha_{ш} \cdot 100 \%$

$$\alpha_{ш} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{i,деф}}{A_{ш}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $A_{i,деф}$ – максимальная площадь сечения дефекта, пересекающего слой Δx , примыкающий к секущей плоскости сварного шва; $A_{ш}$ – площадь сечения сварного шва.

4. Предел сопротивления металла электрода равен пределу сопротивления металла балки.

5. Статический момент пояса относительно нейтральной оси балки S_f определяется как [7]

$$S_f = b_f \cdot \delta_f \frac{(h_w + \delta_f)}{2} + \frac{\delta_w h_w^2}{8}, \quad (4)$$

где b_f – ширина пояса; δ_f – толщина пояса; δ_w – толщина стенки; h_w – высота стенки.

На основании высказанных предположений касательные напряжения в поясном сварном шве с учетом дефектов, применив формулу (1), можно представить в виде

$$\tau_z = \frac{Q \cdot S_f}{\alpha_{ш} \cdot I_x \cdot 2k_f \cdot \beta_z \cdot \gamma_{wf}}. \quad (5)$$

После этого на основании формулы (2) легко определяется критическая температура в пояском сварном шве с учетом дефектов [8].

Для примера были проанализированы сварные составные балки с различной погонной нагрузкой. Результаты вычислений показаны в табл. 1.

Табл. 1. Критические температуры поясного шва сварных составных балок с учетом дефектов

№	Характеристики балки	Критическая температура шва, °С (при $\alpha_{ш} \cdot 100\%$)						
		0	10	20	30	40	50	60
1	$l=12$ м; $h=79,1$ см; $b_f=28$ см; $\delta_f=1,7$ см; $\delta_w=1,35$ см; $k_f=0,5$ см; $R_s=26,5$ кН/см ² ; $q=0,6$ кН/см	587	568	546	521	476	355	156
2	$l=12$ м; $h=120$ см; $b_f=40$ см; $\delta_f=2,5$ см; $\delta_w=1,0$ см; $k_f=0,6$ см; $R_s=21$ кН/см ² ; $q=1,53$ кН/см	540	519	489	420	271	131	–
3	$l=14$ м; $h=99$ см; $b_f=32$ см; $\delta_f=2,1$ см; $\delta_w=1,6$ см; $k_f=0,6$ см; $R_s=26,5$ кН/см ² ; $q=0,6$ кН/см	605	602	584	561	529	473	347
4	$l=16$ м; $h=101,3$ см; $b_f=32$ см; $\delta_f=3,25$ см; $\delta_w=1,95$ см; $k_f=0,6$ см; $R_s=26,5$ кН/см ² ; $q=0,6$ кН/см	617	610	585	549	509	419	195

Из таблицы видно, что характер изменения критической температуры шва аналогичен для всех балок. Также можно заметить, что резкое снижение критической температуры начинается при относительной суммарной площади дефектов в сечении сварного шва 30...40 %, когда отношение $\tau_{z0}/\tau_{z\alpha}$ приближается к диапазону значений 1,2...1,3 (τ_{z0} – касательные напряжения при отсутствии дефектов; $\tau_{z\alpha}$ – касательные напряжения при относительной суммарной площади дефектов $\alpha_{ш} \cdot 100\%$).

Выводы. Таким образом, на примере показано, что количество микротрещин и дефектов в пояском сварном шве в пределах 30...40 % от площади сечения шва незначительно снижает его критическую температуру. Резкое снижение критической температуры начинается при относительной суммарной площади дефектов в сечении сварного шва, когда отношение касательных напряжений $\tau_{z0}/\tau_{z\alpha}$ приближается к диапазону значений 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. Васильченко А.В. Огнестойкость стальной колонны при комбинированном воздействии "взрыв-пожар" / Васильченко А.В., Ковалевская Т.М. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2018. – Вып. 43. – С.25-30.

5. Металлические конструкции. В 3 т. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений: справочник проектировщика / Под общей редакцией В.В. Кузнецова. – М.: изд-во АСВ, 1998. – 512 с.

6. Федоренко Г.А. Контроль качества материалов и сварных соединений: учебное пособие / Федоренко Г.А., Иванова И.В. – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2009. – 116 с.

7. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов / Под общей редакцией А.П. Беленя. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.

8. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій: навчальний посібник / О.В. Васильченко, Ю.В. Квітковський, О.В. Миргород, О.А. Стельмах. – Харків : ХНАДУ, 2015. – 488 с.

Получено редколлегией 12.03.2019

О.В. Васильченко, О.В. Савченко, Т.М. Ковалевська

Вплив дефектів зварного шва на вогнестійкість складеної сталеві балки

Попередні оцінки показали, що кількість мікротріщин і дефектів в поясах зварних швах складеної сталеві балки в межах 30 ... 40% від площі перетину шва тільки незначною мірою зменшує його критичну температуру. Різке зниження критичної температури починається, коли відношення дотичних напружень бездефектного шва до дотичних напружень шва з дефектами наближається до діапазону значень 1,2 ... 1,3.

Ключові слова: сталева складова балка, дефекти зварного шва, критична температура.

A. Vasilchenko, A. Savchenko, T. Kovalevskaya

Effect of welded seam defects on fire resistance of composite steel beam

Estimated estimates showed that the number of microcracks and defects in the belt welds of a composite steel beam within 30 ... 40% of the cross-sectional area of the seam slightly reduces its critical temperature. A sharp decrease in the critical temperature begins when the ratio of the tangential stresses of the defect-free seam to the tangential stresses of the seam with defects approaches the value range of 1.2 ... 1.3.

Keywords: steel composite beam, weld defects, critical temperature.