

## **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С СЕЧЕНИЯМИ ИЗ ШВЕЛЛЕРОВ**

А.И. Голоднов, д.т.н., И.А. Иванова, инж.

*Общество с ограниченной ответственностью «Украинский институт стальных конструкций им. В.Н. Шимановского»*

*ул. В. Шимановского, 2/1, г. Киев, Украина*

E-mail: *golodnow@ukr.net*

Развитие стальных строительных конструкций возможно путем совершенствования методов расчета, проектирования, изготовления и монтажа. В связи с резким подорожанием стального проката существенное значение имеет снижение металлоемкости конструкций [1 и др.].

Таким образом, в настоящее время в области металлостроительства определились такие основные задачи:

- повсеместное применение сталей высокой прочности, эффективного проката, в т.ч. и из гнутых (открытого и закрытого) профилей;
- совмещение функций и концентрация материала в несущих конструкциях;
- применение предварительного напряжения, в т.ч. и выполняемого путем регулирования остаточного напряженного состояния (ОНС) [1];
- учет работы материала за пределом упругости и т.д.

Наиболее распространенным для сжатых и изгибаемых элементов был и остается симметричный двутавровый профиль. Швеллер можно рассматривать как отдельный случай двутаврового профиля (в случае составного сечения), т.к. швеллер имеет одну ось симметрии.

Все перечисленные профили, как правило, изготавливают из углеродистой и низколегированной сталей. С целью повышения механических характеристик применяют термоупрочнение профильной стали – двутавров, швеллеров, уголков. Листовую сталь изготавливают также из термообработанной углеродной и низколегированной стали. Электросварные трубы для получения большей стабильности механических свойств обычно подвергают термической обработке.

Целью работы является разработка методики определения устойчивости внецентренно сжатых элементов составного сечения из швеллеров.

Задачу определения устойчивости внецентренно сжатых элементов из швеллеров можно решить в условно-приближенном варианте [1 и др.] с учетом специфики деформирования таких профилей. Форма изогнутой оси принимается в виде полуволны синусоиды. Влияние закрепления концов учитывается коэффициентом приведения длины согласно рекомендаций действующих нормативных документов [2, 3].

Условно-приближенное решение базируется на понятии кривизны «второго расчетного сечения» (по А.В. Геммерлингу [4]). С учетом принятой предпосылки о синусоидальной форме согнутой оси элемента не представляет затруднений определение прогиба и величины критической

нагрузки. Прогиб элемента определяется по формуле:

$$f = \frac{(L^2 \cdot \chi)}{\pi^2}, \quad (1)$$

где  $L$  – приведенная длина;  $\chi$  – кривизна «второго расчетного сечения».

При определении несущей способности эксплуатируемых конструкций необходимо учитывать возможность местной потери стойкости элементов сечения вследствие, например, коррозионного износа.

Решение задачи определения несущей способности внецентренно сжатого элемента, деформирующегося в плоскости большей или меньшей жесткости с учетом влияния ОНС, может быть представлен в таком виде.

1. Задаются: геометрическими размерами элемента, характеристиками прочности и деформативности стали, условиями на концах и начальным эксцентриситетом приложения нагрузки.

2. Устанавливают ОНС в швеллерном сечении элемента. В результате сложности определения ОНС, возникающего при прокатке или профилизации, можно принять величины ОН, равными нулю или руководствоваться экспериментальными данными. При регулировании ОНС путем наплавки холостых валиков по кромкам полок или посередине высоты стенки – по данным, полученным экспериментальным путем [5].

3. Задаются радиусом кривизны сечения  $\rho_j$ , где  $j$  – номер этапа расчета.

Находят величину кривизны по формуле:

$$\chi_j = \frac{1}{\rho_j}. \quad (2)$$

Принимают кривизну «второго расчетного сечения»  $\chi_j$  и вычисляют прогиб элемента по формуле (1). Условия на концах элемента учитываются коэффициентом приведения длины.

5. Зная кривизну расчетного сечения и прогиб элемента, находят величину действующего продольного усилия, используя известные уравнения равновесия внутренних и внешних сил:  $\sum X = 0$  и  $\sum M = 0$ .

6. Последовательно уточняя параметры напряженно-деформированного состояния «второго расчетного сечения», получают опорную ( $j$ ) точку зависимости "Р – f" («нагружение–прогиб»).

7. Изменяют радиус кривизны наиболее нагруженного сечения  $\rho_{j+1} = \rho_j - \Delta\rho$  ( $\Delta\rho$  – шаг по радиусу кривизны) и по формуле (2) находят кривизну  $\chi_{j+1}$ .

8. Выполняют вычисления по пунктам 5...6 алгоритма и определяют новое значение опорной ( $j+1$ )-й точки кривой "Р – f".

9. Сравнивают значение нагрузки Р на двух смежных этапах расчета:

- если  $P_{j+1} - P_j > 0$ , проводят вычисление по п. 7;
- если  $P_{j+1} - P_j < 0$ , возвращаются на предыдущее значение радиуса

кривизны  $\rho_j$ , изменяют  $\Delta\rho = 0,5 \cdot \Delta\rho$  и продолжают вычисление по п. 7.

Расчет считается законченным после выполнения условия:

$$\left| \frac{P_{j+1} - P_j}{P_j} \right| < \eta, \quad (3)$$

где  $\eta = 0,001 - 0,01$  – необходимая точность расчета.

Дальнейший расчет при увеличивающейся кривизне позволяет получить точки на ниспадающей ветви (после потери устойчивости внецентренно сжатого элемента) кривой деформации "P – f".

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голоднов А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках / А. И. Голоднов. – К. : Вид-во «Сталь», 2008. – 150 с.
  2. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : ДБН В.2.6-163:2010. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с. – (Конструкції будівель і споруд. Державні будівельні норми України)
  3. Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 359 с. – (Споруди транспорту. Державні будівельні норми)
  4. Геммерлинг А. В. Несущая способность стержневых стальных конструкций / А. В. Геммерлинг. – М.: Госстройиздат, 1958. – 207 с.
- Иванов А. П. Распределение остаточных напряжений в горячекатаных прокатных профилях / А. П. Иванов, И. А. Иванова // Зб. наук. праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2. – С. 5–12.