

УДК 624.012.45.04

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ СТЕРЖНЕЙ ПО МЕТОДИКЕ ТКП ЕН 1993-1-1; 1-3; 1-5 НА ПЛОСКИЙ ИЗГИБ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ

Р.В. КИБИСОВ, В.И. НАУМЕНКО

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.Н. КИСЕЛЁВ)

Методику расчета тонкостенных стержней в соответствии с ТКП ЕН 1993-1-1; 1-3; 1-5 рассмотрим на примере стержня С-образного профиля. Определим общую устойчивость стержня при изгибе. Стержень рассчитаем на плоский изгиб и внецентренное сжатие.

Введение. В соответствии с ТКП ЕН 1993-1 различают четыре класса поперечных сечений тонкостенных стержней. В поперечных сечениях Класса 4 местная потеря устойчивости будет происходить перед достижением предела текучести в одной или более частях поперечного сечения. При этом для определения необходимых допусков при снижении несущей способности от допусков местной потери устойчивости должна использоваться эффективная ширина. Тонкостенные холодногнутые стержни открытого профиля относятся к Классу 4. Проведем расчет такого стержня на плоский изгиб и внецентренное сжатие.

Определение общей устойчивости стержня при изгибе (с закручиванием). Общая устойчивость стержня при изгибе (с закручиванием) проверяется по формуле

$$\frac{M}{M_{b,Rd}} \leq 1,0,$$

где $M_{b,Rd}$ - расчетный критический момент потери устойчивости плоского изгиба с закручиванием;

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{eff,x} \cdot \sigma_T(R_y), \tag{1}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}},$$

где $\alpha_{LT} = 0,76$ для поперечного сечения 4 класса;

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\overline{\lambda_{LT}} - 0,2) + (\overline{\lambda_{LT}})^2 \right].$$

Условная гибкость

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_x \cdot \sigma_T(R_y)}{M_{cr}}},$$

где M_{cr} – упругий критический момент потери устойчивости плоского изгиба с закручиванием поперечного сечения брутто.

При пользовании формулой (1) наиболее сложными моментами является:

- определение момента сопротивления эффективного сечения $W_{eff,x}$;
- определение упругого критического момента с закручиванием M_{cr} .

На примере С-образного сечения рассмотрим процедуру вычисления этих величин.

Определение момента сопротивления эффективного сечения $W_{eff,x}$. Вначале для полного сечения следует вычислить нормальные напряжения по осям полку, принимая в крайних волокнах напряжения равные пределу текучести.

Нормальные напряжения по осям полки:

$$\sigma_{fl} = \sigma_T \frac{h_p + t}{h_p + 2t}.$$

Для каждого элемента сечения определяется эффективная ширина.

$$\lambda_{p,w} = \frac{h_p}{t \cdot \pi} \sqrt{\frac{12(1 - \nu^2) \cdot \sigma_{w,l}}{E \cdot K_\sigma}}.$$

В сечении образуется новый центр тяжести (рисунок).

Размер отгиба значительно меньше соответствующих размеров стенки. При этом краевой элемент, смежный с отгибом, не равноценен по устойчивости с краевым элементом, примыкающим к стенке. Поэтому краевой элемент с отгибом потеряет устойчивость раньше, и будет происходить искажение сечения аналогично тому, что рассмотрено при центральном сжатии.

Также как и при центральном сжатии уточняется редуцированная толщина t_{red} элемента жесткости.

С учетом уточнения толщины элемента жесткости определяется эффективный момент сопротивления сечения W .

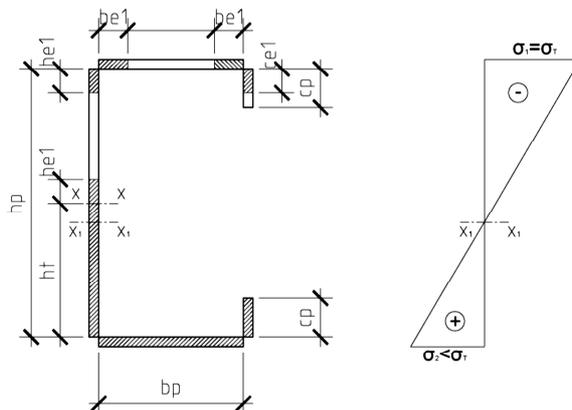


Рис. Редуцированное сечение стержня с новым центром тяжести

Определение упругого критического момента с закручиванием M_{cr} .

M_{cr} определяется на основе характеристик полного сечения и учитывает условия нагружения, фактические распределения момента и поперечные закрепления. Более никаких указаний по определению M_{cr} в ТКП ЕН 1993-1-1; 1-3; 1-5 не приводится. Проектировщик должен выводить формулу для M_{cr} , на основании основополагающих принципов. Однако в некоторых случаях нагрузок теоретического решения для M_{cr} не существует и рекомендуются различные эмпирические и аппроксимирующие формулы. Для частного случая, когда изгибающий момент по длине балки постоянен, при свободном опирании на концах балки, M_{cr} определяется по формуле

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{E \cdot J_y \cdot G \cdot J_{cr}} \cdot \sqrt{1 + \pi^2 \frac{E \cdot J_w}{l^2 \cdot G \cdot J_{cr}}},$$

где G – модуль сдвига;

$J_{кр}$ – момент инерции при кручении;

J_w – секториальный момент инерции;

L – пролет балки.

Для учета изменения изгибающего момента между элементами бокового раскрепления, понижающий коэффициент χ_{LT} можно скорректировать следующим образом, где для стоек:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f},$$

где $f = 1 - 0,5(1 - K_c) \left[1 - 2 \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1,0$,

где $K_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$,

где $\psi = \frac{M_2}{M_1}$.

Внецентренное сжатие. Внецентренно сжатые стержни проверяют на устойчивость по приближенной формуле без учета взаимодействия продольной силы и момента:

$$\frac{N}{N_{b,Rd}} + \frac{M + \Delta M}{M_{b,Rd}} \leq 1,0,$$

где $\Delta M = N \cdot e_x(e_y)$.

Возможна также проверка внецентренно сжатых стержней по формуле

$$\left(\frac{N}{N_{b,Rd}} \right)^{0,8} + \left(\frac{M + \Delta M}{M_{b,Rd}} \right)^{0,8} \leq 1,0 .$$

Заключение. При нахождении общей устойчивости стержня при изгибе (с закручиванием) наиболее сложными моментами являются:

- определение момента сопротивления эффективного сечения $W_{eff,x}$;
- определение упругого критического момента с закручиванием M_{cr} .

При расчете каждого элемента сечения требуется определение эффективной ширины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила и правила для зданий : технический кодекс установившейся практики ТКП EN 1993-1-1-2009 (02250) / Мин-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2009.
2. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Ч. 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов : технический кодекс установившейся практики ТКП EN 1993-1-3-2009 (02250) / Мин-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2009.
3. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Ч. 1-5. Пластинчатые элементы конструкций : технический кодекс установившейся практики ТКП EN 1993-1-5-2009 (02250) / Мин-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2009.