

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Одной из причин, сдерживающих развитие легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК), является отсутствие в России нормативной базы для их расчета и проектирования, в то время как в мировой практике разработаны нормы и стандарты для проектирования таких конструкций, например, Еврокод 3 [1] и американский стандарт AISI [2], учитывающие особенности работы холодногнутого профиля из оцинкованной стали в конструкциях зданий и сооружений. Российские СНиП 23.И-23-81 «Стальные конструкции» не могут быть использованы для расчета конструкций из тонкостенных гнутых профилей толщиной менее 4 мм, так как не учитывают некоторых существенных особенностей их работы.

К отличительным особенностям профилей, связанным с их тонкостенностью, относятся редуцирование сечения, изменение механических характеристик стали по сечению, наличие остаточных деформаций и геометрических несовершенств формы. Из-за отсутствия национального стандарта для ЛСТК расчет таких конструкций в настоящее время выполняют по зарубежным нормам или стандартам, разработанным организациями с учетом требований этих норм [3].

Ниже рассмотрены некоторые особенности расчета элементов ЛСТК из тонкостенных гнутых профилей при продольном сжатии и изгибе.

РЕДУЦИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ

Для изготовления несущих конструкций каркасов зданий используют стандартные гнутые профили поперечным сечением в основном трех типов: швеллерные, с-образные и z-образные (рис. 1). Высота сечения этих профилей — от 100 до 400 мм. Для повышения жесткости профилей при местной нагрузке и кручении их стенке придают ступенчатую Σ -образную форму (рис. 1 б).

Профили прокатывают из рулонной оцинкованной стали толщиной от 0,8 мм до 4 мм с пределом текучести от 250 МПа до 350 МПа и относительным удлинением не менее 16%.

С целью снижения теплопроводности гнутых профилей, используемых в наружных элементах каркаса ограждающих конструкций, на их стенке в процессе прокатки выполняют перфорацию в виде продольных просечек (рис. 1 в). Такие профили принято называть термопрофилями. Соотношение высоты и толщины плоских участков стенок профилей рекомендуется принимать не более 200. В связи с тем, что продольно сжатые участки профиля могут потерять местную устойчивость при напряжениях, не достиг-

ших предела текучести стали f_y , расчетные характеристики сечения следует определять с учетом его редукции, т. е. снижения рабочей площади. При этом расчетную или эффективную ширину сжатых полок b_{ef} рекомендовано принимать равной расстоянию b от края выкружек стенки до края полки или выкружки окаймляющего отгиба, если $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ (рис. 2).

$$\text{Здесь } \bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{b_{ef}}{t} \sqrt{\frac{\sigma_{max}}{EK_1}}, \quad (1)$$

где: σ_{max} — максимальное напряжение в полке; $K_1 = 4$ — для полок с высотой окаймляющего отгиба $c \geq 0,20$; $K_1 = 1$ (согласно [1]) или $K_1 = 0,43$ (согласно [2]) — для полок с высотой окаймляющего отгиба $c < 0,2$ или без него; E — модуль упругости стали; t — толщина полки.

При $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$ расчетную ширину сжатых полок следует определять с учетом местной потери устойчивости по формуле:

$$b_{ef1} = \rho b_{ef}, \quad (2)$$

$$\text{где } \rho = \frac{1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_p}}{\bar{\lambda}_p}. \quad (3)$$

Криволинейные участки и растянутые полки профилей включают в рабочую площадь сечения профилей полностью. Если для продольно сжатых участков стенок $\bar{\lambda}_p > 0,673$, их рабочую площадь также определяют с учетом редукции. Рабочую площадь сечения термопрофилей определяют без учета перфорированного участка на их стенке.

Расчетные геометрические характеристики профилей J_{ef} и W_{ef} (моменты инерции и сопротивления) при изгибе определяют с учетом их рабочей (редуцированной) площади. В связи с тем, что в критической стадии работы сжатых участков профиля их рабочая ширина b_{ef} нелинейно зависит от уровня максимальных напряжений $\sigma_{max} \leq f_y$, значения J_{ef} и W_{ef} при поперечном изгибе профиля определяются методом итерации, последовательно задаваясь значениями напряжений до получения окончательного значения b_{ef1} , близкого к постоянному.

В СНиП II-23-81 «Стальные конструкции», разработанных для проектирования конструкций из стали толщиной не менее 4 мм, не предусмотрен учет редуцирования рабочего сечения элементов. В связи с этим расчет тонкостенных конструкций из гнутых профилей толщиной менее 4 мм (по СНиП II-23-81) может привести к

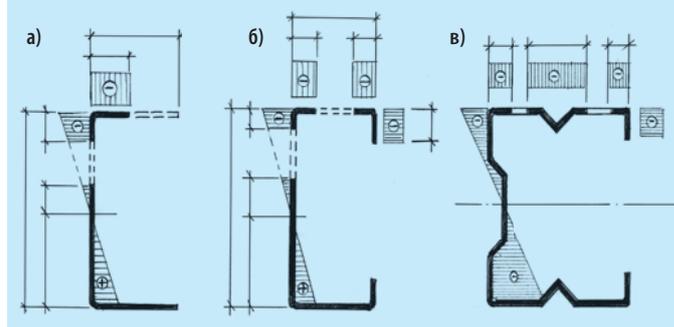
Рис. 1. Типы стальных холодногнутого профилей:

а) с плоской стенкой; б) со стенкой повышенной жесткости; в) с перфорированной стенкой



Рис. 2. Редуцированные (эффективные) сечения профилей:

а) швеллерного сечения; б) с-образного сечения; в) повышенной жесткости



потере их несущей способности и разрушению при поперечном изгибе и продольном сжатии.

Для увеличения рабочей площади продольно сжатого или сжато-изогнутого профиля (и, соответственно, расчетных геометрических характеристик его сечения), не увеличивая или даже уменьшая толщину исходного стального листа, на плоских гранях профиля в процессе прокатки могут быть выполнены продольные промежуточные ребра (риффы), а на свесах — отгибы (рис. 2 в). Размеры сечений риффов и отгибов следует принимать такими, чтобы каждый плоский сжатый участок граней профиля работал, как пластинка, опертая по продольным краям. В этом случае сжатая полка или стенка профиля рассматривается в расчете, как несколько пластинок, расположенных между риффами. При этом в расчетную площадь сечения профиля включают редуцированные площади сечения составляющих сжатых пластинок и полные площади сечения риффов жесткости.

Необходимый собственный момент инерции сечения риффов, выполняющих функцию продольных ребер жесткости, определяют в зависимости от гибкости усиливаемой грани профиля, т. е. от соотношения ширины этой грани b и толщины t .

Ширина отгиба, выполняющего функцию продольного ребра жесткости на свободном краю свеса сжатой полки профиля, должна быть не менее $0,2b$, а ширина этого отгиба (по СНиП II-23-81) — не менее $0,3b$, что приводит к повышению массы профиля и увеличению расхода стали на конструкцию в целом.

На полках и стенках некоторых конструкций из гнутых профилей после прокатки остаются поперечные волны. Например, у криволинейных профилей корытообразного сечения, используемых для бескаркасных арочных покрытий, на широких полках и стенках после вальцовки по требуемому радиусу остаются регулярно расположенные поперечные волны высотой до 4 мм.

В расчете таких профилей на сжатие и изгиб волнистость их граней учитывают как начальное несовершенство формы, снижающее расчетное рабочее сечение профиля. Редукционный коэффициент для определения рабочей ширины волнистой широкой полки арочного профиля при продольном сжатии установлен в пределах $0,065 - 0,08$, в зависимости от толщины листа, из которого изготовлен профиль.

ОБЩАЯ И МЕСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОФИЛЯ

Одной из наиболее распространенных и сложных задач расчета тонкостенных балок и прогонов является учет влияния прикрепленного к ним настила на общую устойчивость изгибаемого элемента. В Еврокоде 3 рассмотрено предельное состояние z-образного гнутого прогона, верхний пояс которого раскреплен из плоскости настилом покрытия (рис. 3). Предельный момент для изгибаемого прогона при сжатом нераскрепленном поясе (например, при ветровом отсосе) определяют по формуле:

$$M = f_{yb} W_{yef} K_f, \quad (4)$$

где: W_{yef} — момент сопротивления эффективного сечения профиля с учетом редуцированной площади сжатой зоны; K_f — коэффициент, учитывающий потерю устойчивости сжатого пояса из плоскости.

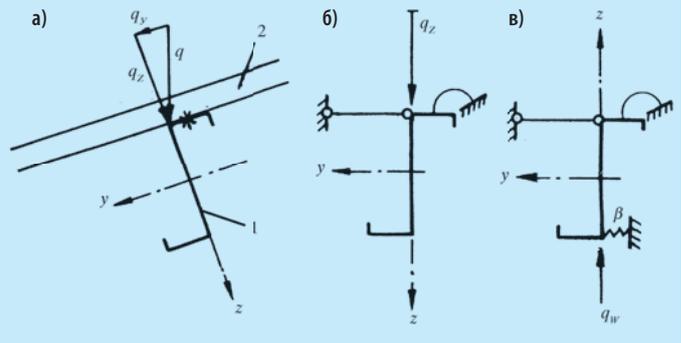
Для определения коэффициента K_f сжатую часть сечения прогона рассчитывают как продольно сжатый элемент на упругом основании (см. рис. 3 в).

$$\text{Расчетная длина этого элемента} — l = L_0 m / (m^4 + K)^{1/2}, \quad (5)$$

где: $K = \beta \cdot L_0^4 / \pi EJ_{ef}$; L_0 — расстояние между сечениями по длине элемента, изгибающий момент в которых равен нулю; J_{ef} — момент инерции прогона относительно нейтральной оси, параллельной его стенке; β — жесткость (Н/кв. мм) свободного пояса прогона из плоскости, определяемая как отношение равномерно распределенной нагрузки, параллельной плоскости настила, к перемещению единичной глины свободного пояса в направлении действия этой нагрузки.

Величина β зависит от размеров прогона и жесткости на кручение его соединений с настилом, ее значение определяют экспериментальным путем.

Рис. 3. Расчетная схема прогона z-образного сечения, поддерживающего настил в покрытии (1 – прогон; 2 – настил): а) составляющие постоянной и снеговой нагрузок; б), в) расчетные модели прогона при действии снеговой нагрузки и ветрового отсоса, соответственно



Предельный момент для изгибаемого прогона, у которого сжатый пояс раскреплен профилированным стальным настилом из плоскости (например, при действии снеговой нагрузки), также определяют по формуле (4), но расчетную длину элемента — по формуле:

$$l = \alpha L_0, \quad (6)$$

где α — коэффициент, определяемый в зависимости от значения K .

Профилированный настил обладает конечной жесткостью на сдвиг в плоскости его закрепления на опорах [5]. С увеличением поперечной нагрузки перемещения верхнего пояса тонкостенного прогона, имеющего, как правило, начальную погибь, возрастают в направлении из плоскости в результате сдвиговых деформаций настила и податливости его соединений. Сдвиговая жесткость настила зависит, в основном, от деформативности поперечного сечения гофров, возрастающей в 3,5–6 раз при закреплении настила к прогонам через волну. Сдвиговая жесткость настила зависит также от податливости его соединений между профилями и на опорах. При закреплении сжатого пояса прогона с настилом в отдельных точках эти соединения следует рассчитывать на фактическую или условную поперечную силу, действующую в горизонтальной плоскости.

Результаты испытаний тонкостенных прогонов повышенной жесткости из оцинкованной стали 1,5–2 мм, изготовленных по ТУ 1122-076, показали, что общая устойчивость и несущая способность гнутых профилей при поперечном изгибе в значительной степени зависят от жесткости их раскрепления из плоскости [4]. Местную устойчивость стенок гнутых профилей проверяют на опорах изгибаемых балок и прогонов, а также при действии сосредоточенных поперечных нагрузок в пролете.

В зарубежных нормах критическая сосредоточенная нагрузка R_w или P_n на одну стенку профиля высотой h и толщиной t определяется с помощью полуэмпирических формул, основанных на экспериментальных данных. В Еврокоде 3 значение критической силы R_w для профилей с двумя или несколькими стенками (например, для профнастила) определяется по формуле:

$$R_w = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E (1 - 0,1 \sqrt{r/t})} \left[(0,5 + \sqrt{0,02 l_a/t}) (2,4 + \Phi/90)^2 \right] / \gamma_M, \quad (7)$$

где: l_a — ширина опоры профиля (не менее 10 мм); α — коэффициент, зависящий от ширины опоры; Φ — угол наклона стенки профиля; γ_M — коэффициент надежности.

В эту формулу не включено соотношение h/t несмотря на то, что оно характеризует гибкость стенки и является одним из основных параметров в расчете критической сосредоточенной нагрузки для тонкостенных профилей.

В нормах AISI [2] критическая нагрузка P_n , аналогичная нагрузке R_w [1], определяется по формуле:

$$P_n = C t^2 R_y \sin \theta \left(1 - C_R \sqrt{\frac{R}{t}} \right) \left(1 + C_N \sqrt{\frac{N}{t}} \right) \left(1 + C_h \sqrt{\frac{h}{t}} \right), \quad (8)$$

где: C , C_R , C_N и C_h — коэффициенты, зависящие от вида профиля, радиусов гиба, ширины опоры и гибкости стенки, соответственно; $R_y = f_{yb}$; $N = l_a$; $\theta = \Phi$.

В отличие от формулы (7), в формулу (8) для определения критической силы при потере местной устойчивости стенки включено соотношение ее высоты и толщины. В связи с этим формулу (8) можно рекомендовать для расчета критической нагрузки R_w и P_n .

Выводы

1. Расчет стальных конструкций из холодногнутого тонкостенного профиля в настоящее время в России выполняют по зарубежным нормам (в основном, Еврокоду 3, ч. 1–3) или разработанным на основе этих норм стандартам организаций, которые не учитывают опыт и особенности проектирования стальных конструкций в России, а по некоторым положениям и противоречат один другому.

2. Необходимо разработать национальный стандарт по проектированию стальных конструкций из гнутых профилей (включая тонкостенные профили из оцинкованной стали толщиной не более

4 мм), что позволит повысить эффективность и уровень безопасности строительства в России.

Э. Л. АЙРУМЯН, к. т. н., главный специалист,
зав. лаб. холодногнутого профилей ЦНИИПСК им. Мельникова

Литература

1. Eurocode 3: Design of steel structures. EN 1993-1-3: 2004. Part 1–3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting, Stage 34. CEN. European Committee for Standardisation. 2004.
2. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. AISI STANDARD. 2001.
3. Расчет и проектирование легких стальных конструкций из гнутых тонкостенных профилей: Стандарт организации ООО «Талдом-Профиль». СТО 50186441-4.05. 2006 г.
4. Айрумян Э. Л., Галстян В. Г. «Исследование действительной работы тонкостенных холодногнутого прогона из оцинкованной стали». // «Промышленное и гражд. строительство», № 6, 2002 г.
5. Настилы стальные профилированные для покрытий зданий и сооружений: Стандарт организации. СТО 0043 ЦНИИПСК им. Мельникова, ЗАО «Хилти Дистрибушн Лтд». — М., 2005 г.

Новости

БЕЗОТХОДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ROCKWOOL

27 октября 2009 г. компания ROCKWOOL открыла на территории предприятия в Выборге (Ленинградская область) брикетный завод. Он позволяет вторично использовать 100% отходов производства теплоизоляции.

Обрезки каменной ваты и мелкая фракция камней прессуются в брикеты, которые затем подвергаются плавлению и переработке в готовый продукт — теплоизоляцию на основе камня. С введением брикетного завода уменьшится потребление исходного сырья: топлива — на 2% и горной породы — на 25%. Эффективность про-

изводства повысится на 15%. Группа компаний ROCKWOOL ставит масштабные цели в снижении объемов производственных отходов. В настоящее время 80% остаточных материалов от производства каменной ваты на предприятиях Группы компаний ROCKWOOL подвергается вторичной переработке. И этот показатель непрерывно растет.

Вторичная переработка повышает эффективность производства, сохраняя ресурсы нашей планеты», — комментирует генеральный директор российского подразделения компании ROCKWOOL Ник Винс.



сибирь
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадяна



строительство архитектура
Красноярск

19—22 января 2010

XVIII специализированная выставка
строительных и архитектурных проектов,
новых технологий и оборудования в строительстве,
строительных и отделочных материалов.

Ежегодный конкурс архитектурных проектов
«Ордер воплощения»

МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
Тел.: (391) 22-88-405, 22-88-613
22-88-611 (круглосуточно)
www.krasfair.ru

Официальная поддержка:



Информационная поддержка:

