

## Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб

*К.т.н., доцент А.А. Кикоть\*;  
студент В.В. Григорьев,*

*ФГБОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

**Ключевые слова:** стальной тонкостенный холодногнутый профиль; Сигма-образное сечение; изгиб; эффективность; CFSteel

В последние годы в России наблюдается устойчивый рост сегмента строительства с применением тонкостенных холодногнутого профилей из оцинкованной стали [1,2].

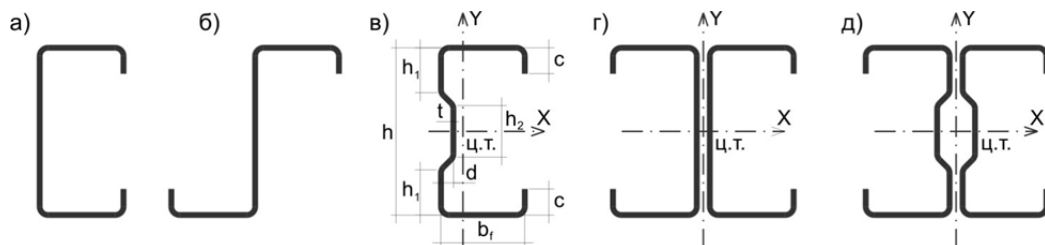
Для расчетов таких элементов применяются два принципиальных подхода. В одном из них тонкостенные профили представляются как оболочки, и дальнейший расчет производится с помощью метода конечных элементов (МКЭ), где моделирование выполняется обычно пластинчатыми конечными элементами (КЭ) [3,4]. Во втором подходе элементы из холодногнутого профилей рассматриваются как стержни, и из-за трудностей аналитического решения дифференциальных уравнений равновесия применяются те или иные численные методы, описанные, например, в работе [5], или МКЭ со стержневыми конечными элементами без учета или с учетом деформаций кручения [6,7,8].

Исследованиям рамных несущих конструкций стальных тонкостенных холодногнутого профилей из оцинкованной стали посвящены работы [9,10,11]. Фермы из таких профилей рассмотрены в [12,13].

Конструкции на основе холодногнутого тонкостенных профилей с успехом применяются и в качестве изгибаемых элементов при умеренных и средних значениях пролетов и нагрузок. Это прогоны, балки покрытий и перекрытий. Работа таких конструкций рассматривалась в исследованиях [14,15,16,17].

В качестве изгибаемых элементов могут применяться профили С-образного, Z-образного, Сигма-образного сечения (рисунок 1). Одной из особенностей холодногнутого профилей, исходящей из способа их производства, а это чаще всего непрерывное холодное формование, является возможное многообразие соотношения размеров элементов сечения в пределах одной формы и даже одной высоты профиля. Вероятно, существует такая комбинация размеров, при которой профиль в данной проектной ситуации (характеризующейся конкретным сочетанием внутренних усилий) будет наиболее эффективен. Вопросы эффективности С- и Z-образного профилей в условиях изгиба рассмотрены в [18].

Целью настоящей работы является определение влияния параметров сечения – ширины пояса и размера части стенки, примыкающей к поясу – на эффективность работы изгибаемого элемента из двух спаренных Сигма-профилей (рисунок 1 д). Такое сечение имеет две оси симметрии, что в большинстве случаев исключает кручение, которое в дальнейшем не учитывается.



**Рисунок 1. Сечения профилей: а) С-образное; б) Z-образное; в) Сигма-образное; г) из двух С-профилей; д) из двух Сигма-профилей**

Довольно часто непосредственно на такие конструкции опирается стальной профилированный настил с соответствующим креплением через его нижние полки к верхнему поясу балки. Поэтому в дальнейшем будем считать, что общая устойчивость конструкции обеспечена.

Кикоть А.А., Григорьев В.В. Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб

За критерий эффективности профиля при работе на изгиб принято отношение максимального изгибающего момента, который способно воспринять сечение одного Сигма-профиля в упругой стадии работы стали, к его площади, характеризующей расход материала,

$$M_{xmax}/A, \text{ где } M_{xmax} = W_x \sigma_y. \quad (1)$$

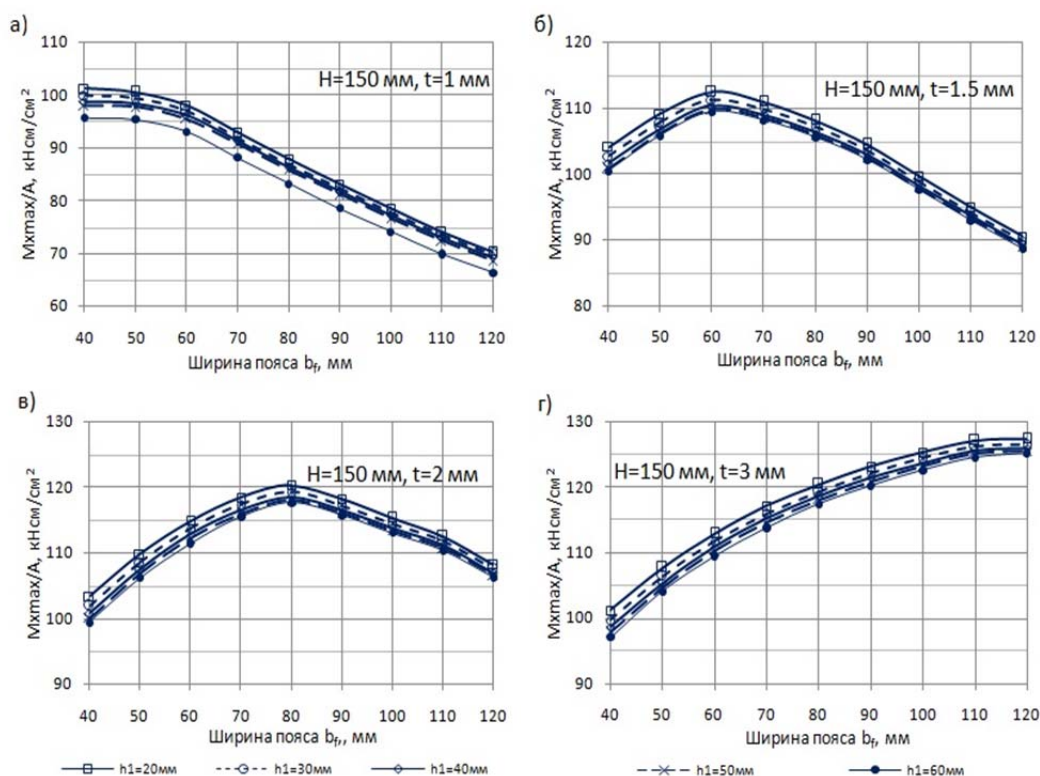
Варьируются следующие параметры сечения: ширина пояса  $b_f$  в интервале от 40 до 120 мм; высота верхней части стенки  $h_1$  от 20 до  $h - 2(h_1+d)$ ; ширина отгиба принята постоянной, равной  $0,3b_f$  [1,18]. Расчеты выполнены для трех фиксированных высот профиля:  $h = 150, 250$  и  $350$  мм, и трех значений предела текучести стали:  $\sigma_y = 250, 350$  и  $450$  МПа.

Момент сопротивления сечения в (1) определяется в зависимости от того, обеспечены ли местная устойчивость элементов сечения (стенка, пояс, отгиб) и устойчивость формы сечения [19,20] при напряжениях в сжатом поясе, равных пределу текучести. Если устойчивость обеспечена, то в расчет принимается момент сопротивления полного сечения Сигма-образного профиля. Если устойчивость хотя бы одного (или более) из перечисленных видов не обеспечена, то в расчет принимается редуцированный момент сопротивления эффективного сечения  $W_{xeff}$ .

Параметры эффективного сечения определяются по Eurocode 3 [20,21], где учитывается явление потери устойчивости пластин, составляющих сечение. С этой целью пластины в зависимости от уровня и градиента сжимающих нормальных напряжений, а также граничных условий по продольным граням, в соответствии с концепцией «эффективной ширины», предложенной фон Карманом [22], разбиваются на эффективные и неэффективные участки. Первые участки моделируют части сечения, которые после потери устойчивости соответствующей пластины остались устойчивы, и они включаются в состав эффективного сечения. Вторые участки моделируют выпучившиеся части пластин и не включаются в состав эффективного сечения.

Возможность потери устойчивости формы сечения учитывается в [20] путем редуцирования толщины условного ребра жесткости, в состав которого включается эффективная часть сжатого пояса, примыкающая к отгибу, и эффективная часть самого отгиба. И рассматривается устойчивость стержня на упругом основании с таким сечением.

Все вычисления выполнены с помощью модифицированного варианта программы расчета элементов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей CFSteel [23], в которой для определения редуцированных геометрических характеристик эффективных сечений реализована методика Eurocode 3.

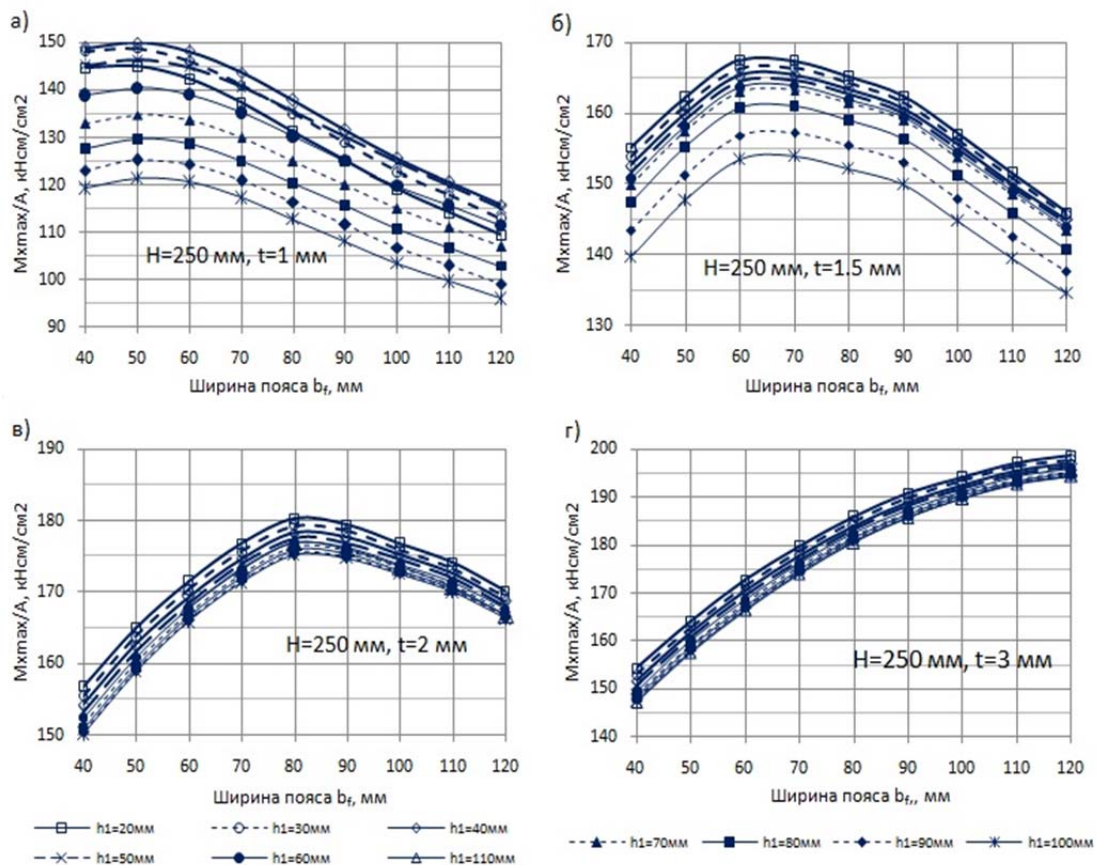


**Рисунок 2. Зависимости эффективности профиля от ширины пояса для  $h = 150$  мм и  $\sigma_y = 250$  МПа**

Кикоть А.А., Григорьев В.В. Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб

На рисунке 2 представлены зависимости эффективности профиля  $M_{x_{max}}/A$  от ширины пояса  $b_f$  для фиксированной высоты профиля  $h = 150$  мм и стали с  $\sigma_y = 250$  МПа. При толщине  $t = 1$  мм максимум достигается при малых ширинах  $b_f = 40...50$  мм. При больших ширинах увеличивается неэффективная часть пояса. Если при  $b_f = 40$  мм пояс полностью эффективен (т.е. не теряет местную устойчивость), то при  $b_f = 120$  мм ширина неэффективной части составляет уже 59 мм. При увеличении толщины стали неэффективная часть пояса уменьшается, а оптимальные значения  $b_f$  увеличиваются до  $b_f = 60$  мм при  $t = 1,5$  мм,  $b_f = 80$  мм при  $t = 2$  мм. При толщине  $t = 3$  мм сечение полностью эффективно и максимальные значения эффективности лежат за пределами рассматриваемых ширин поясов.

С увеличением высоты профиля до  $h = 250$  мм (рисунок 3) максимальные значения эффективности повышаются приблизительно на 30% при  $t = 1$  мм, на 40% при  $t = 1,5$  мм и на 50% при  $t = 2$  мм. При этом оптимальные ширины поясов смещаются в сторону увеличения примерно на 5...10 мм, а ширины неэффективных частей поясов остаются в целом такими же.



**Рисунок 3. Зависимости эффективности профиля от ширины пояса для  $h = 250$  мм и  $\sigma_y = 250$  МПа**

Увеличение высоты профиля до  $h = 350$  мм (рисунок 4) сопровождается теми же тенденциями. Происходит дальнейшее увеличение эффективности, но в меньшей степени (на 20..25%), а соответствующие ширины поясов  $b_f$  увеличиваются еще на 5...10 мм.

При повышении прочности стали  $\sigma_y$  до 350 и 450 МПа характер зависимости эффективности от ширины пояса не изменяется. Но максимальные значения  $M_{x_{max}}/A$  сдвигаются в сторону меньших  $b_f$  приблизительно на 10 мм (при каждом повышении  $\sigma_y$ ) при всех высотах. Это объясняется относительно ранней потерей устойчивости пояса и большей шириной той его части, которая выключается из работы.

В таблице 1 приведены значения наиболее эффективных  $b_{f_{эф}}$  и относительных эффективных  $b_{f_{эф}}/h$  ширин поясов для разных сталей, высот сечений и толщин. Из таблицы следует, что на величину  $b_{f_{эф}}$  оказывают влияние все три параметра. Но в наибольшей степени  $b_{f_{эф}}$  зависит от толщины стали. Увеличение толщины с 1,5 мм до 3 мм приводит к увеличению  $b_{f_{эф}}$  в 1,7..1,85 раза.

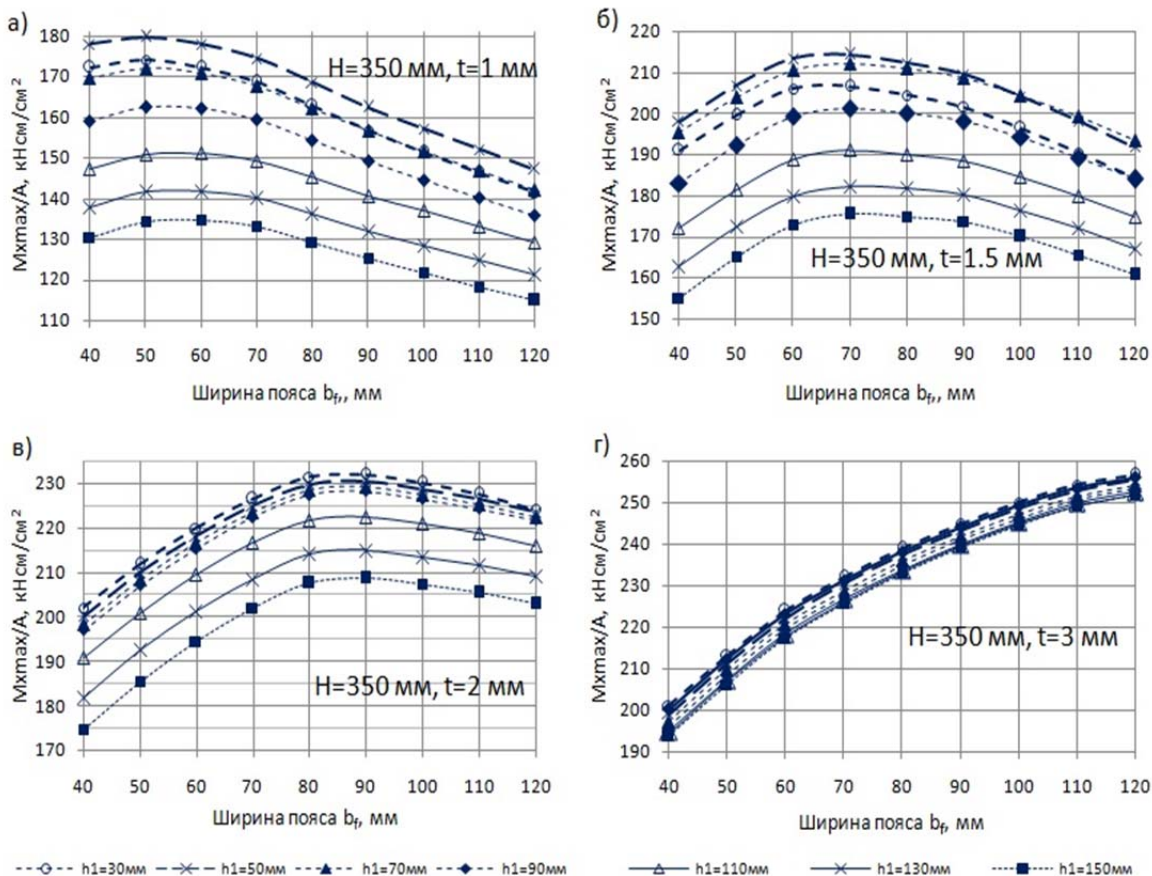


Рисунок 4. Зависимости эффективности профиля от ширины пояса для  $h = 350$  мм и  $\sigma_y = 250$  МПа

Таблица 1. Значения наиболее эффективных ширин поясов

$\sigma_y$ , МПа	$h$ , мм	$b_{f\text{эф}}$ ( $b_{f\text{эф}}/h$ ) при $t$ , мм			
		1,0	1,5	2,0	3,0
250	150	42 (0,28)	61 (0,41)	80 (0,53)	-
	250	52 (0,21)	66 (0,26)	83 (0,33)	-
	350	56 (0,16)	71 (0,20)	90 (0,26)	-
350	150	40 (0,27)	54 (0,36)	70 (0,47)	100 (0,67)
	250	48 (0,19)	60 (0,24)	73 (0,29)	104 (0,42)
	350	50 (0,14)	66 (0,19)	80 (0,23)	108 (0,31)
450	150	-	50 (0,33)	62 (0,41)	90 (0,60)
	250	40 (0,16)	54(0,22)	67 (0,27)	93 (0,37)
	350	50 (0,14)	59 (0,17)	74 (0,21)	98 (0,28)

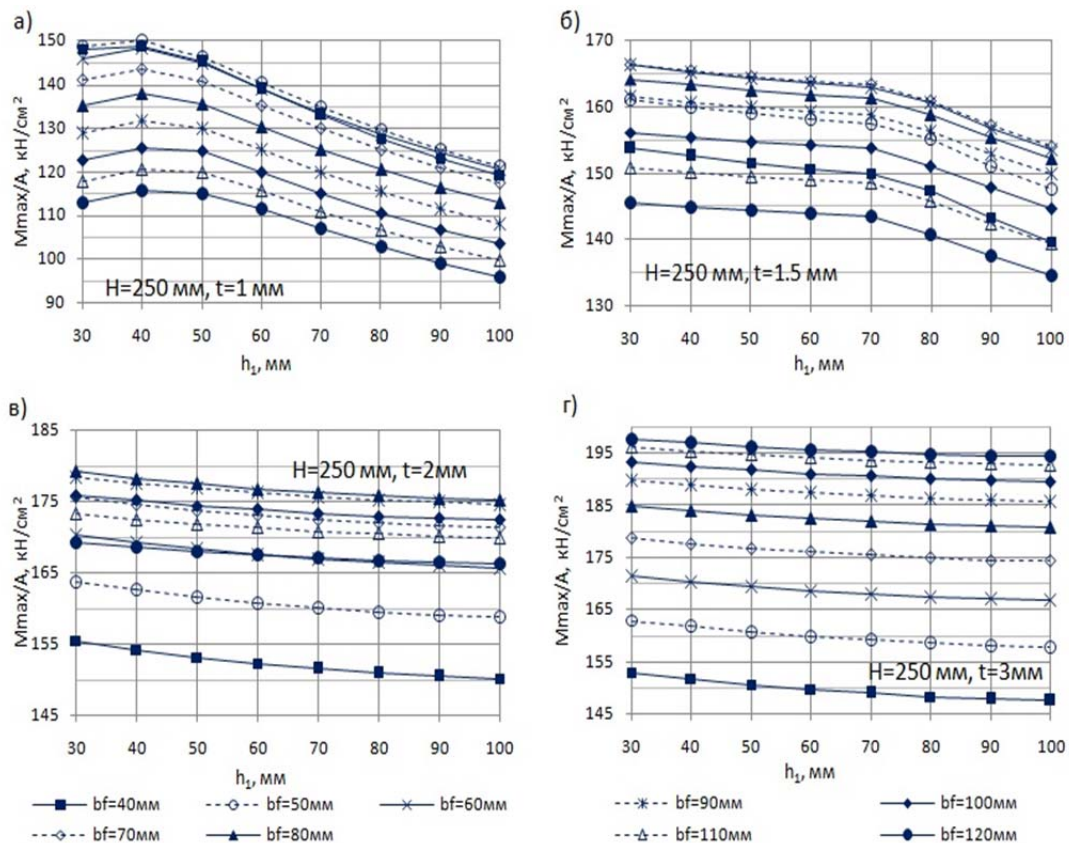
Примечание: Приведены данные для  $h_1 = 50$  мм

На рисунке 5 показано, как влияет изменение высоты части стенки, примыкающей к поясу  $h_1$ , на эффективность профиля для высоты  $h = 250$  мм и  $\sigma_y = 250$  МПа. При  $t = 1$  мм наблюдается выраженный максимум эффективности при высоте верхней части стенки  $h_1 = 40$  мм (рисунок 5а). Это объясняется тем, что при меньших высотах теряет устойчивость средняя часть стенки  $h_2$ , а при больших высотах верхней части стенки  $h_1$  эта часть стенки уже сама теряет устойчивость и выключается из работы. При  $t = 1,5$  мм средняя часть стенки  $h_2$  устойчива на всем интервале варьирования, а при  $h_1 \geq 80$  мм теряет устойчивость крайняя часть и эффективность умеренно падает (рисунок 5 б). При толщинах  $t = 2$  и 3 мм вся стенка устойчива и варьирование высоты  $h_1$  не влияет на значение эффективности (рисунок 5в, 5г).

При высоте  $h = 150$  мм стенка полностью эффективна (т.е. не теряет устойчивость) при всех толщинах, и варьирование высоты ее верхней части не влияет на эффективность профиля.

Кикоть А.А., Григорьев В.В. Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб





**Рисунок 5. Зависимости эффективности профиля от высоты верхней части стенки для  $h = 250$  мм и  $\sigma_y = 250$  МПа**

Для высоты  $h = 350$  мм находят свое дальнейшее развитие тенденции, характерные для  $h = 250$  мм. При  $t = 1$  и  $1,5$  мм имеют место выраженные экстремумы при  $h_1 = 40 \dots 50$  мм и  $h_1 = 50 \dots 60$  мм соответственно. При  $t = 2$  мм и  $h_1 \geq 110$  мм теряет устойчивость часть стенки  $h_1$ , а при  $t = 3$  мм все части стенки сохраняют устойчивость, и варьирование высотой  $h_1$  практически не влияет на эффективность профиля.

Характер влияния размера верхней части стенки  $h_1$  на эффективность сохраняется при повышении прочности стали. В низких профилях ( $h = 150$  мм и  $t = 1$  мм) рассматриваемая часть рано теряет устойчивость и, как следствие, при меньших значениях  $h_1$  эффективность начинает снижаться (при  $\sigma_y = 350$  – после 40 мм; при  $\sigma_y = 450$  МПа – после 30 мм). При толщинах  $1,5 \dots 3$  мм ( $h = 150$  мм) стенка не теряет устойчивость, и размер  $h_1$  не влияет на эффективность профиля.

При высоте  $h = 250$  мм и  $t = 1,5$  мм ( $\sigma_y = 350$  и  $450$  МПа) наблюдается размытый максимум при  $h_1 \approx 30 \dots 50$  мм; при  $h = 350$  мм ( $\sigma_y = 350$  и  $450$  МПа) – выраженный максимум при  $h_1 = 50 \dots 60$  мм.

При толщине  $t = 2$  мм и  $h = 250$  мм профили эффективны: при  $\sigma_y = 350$  МПа – до 90 мм; при  $\sigma_y = 450$  МПа – до 70 мм. Для той же толщины и  $h = 350$  мм профили эффективны при  $h_1 \approx 40 \dots 80$  мм ( $\sigma_y = 350$  МПа) и  $h_1 \approx 50 \dots 70$  мм ( $\sigma_y = 450$  МПа).

При толщине  $t = 3$  мм стенка устойчива в широких диапазонах  $h_1$  и, следовательно, изменение этого параметра не оказывает существенного влияния на эффективность профиля.

Таким образом, в результате исследований, выполненных на основе концепции «эффективной ширины» при работе на изгиб и отсутствии кручения, можно сделать следующие выводы. Изменение ширины пояса существенно влияет на эффективность Сигма-профиля во всем диапазоне высот сечения и прочности стали. Величина эффективной ширины пояса зависит от высоты профиля, прочности и толщины стали. Наибольшее влияние оказывает толщина стали. При  $t = 1,5$  мм наиболее эффективны ширины поясов  $55 \dots 65$  мм; при  $t = 2$  мм –  $65 \dots 80$  мм; при  $t = 3$  мм –  $95 \dots 105$  мм. Высота части стенки, примыкающей к поясу, в профилях с  $h \leq 180$  мм во всем диапазоне прочности сталей и рассмотренных толщин не оказывает влияния на эффективность работы на изгиб. Для сталей с  $\sigma_y = 350$  и  $450$  МПа, начиная с высоты профиля  $h \approx 180 \dots 190$  мм и выше, при  $t = 1,5 \dots 2$  мм наиболее эффективными являются значения  $h_1 \approx 50 \dots 70$  мм.

Кикоть А.А., Григорьев В.В. Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб

## Литература

1. Айрумян Э.Л. Особенности расчёта стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2008. №3. С. 2-7.
2. Жмарин Е.Н. Международная ассоциация лёгкого стального строительства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №2. С. 27-30.
3. Смазнов Д.Н. Устойчивости при сжатии составных колонн, выполненных из профилей из высокопрочной стали // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 42-49.
4. Гордеева А.О., Ватин Н.И. Расчетная конечно-элементная модель холодногнутого перфорированного тонкостенного стержня в программно-вычислительном комплексе SCAD Office // Инженерно-строительный журнал. 2011. №3. С. 36-46.
5. Астахов И.В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутого профиля: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2006. 24 с.
6. Ватин Н.И., Рыбаков В.А. Расчет металлоконструкций: седьмая степень свободы // Стройпрофиль. 2007. №2. С. 60.
7. Лалин В.В., Рыбаков В.А., Морозов С.А. Исследование конечных элементов для расчёта тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. №1. С. 53-73.
8. Туснин А.Р. Расчет и проектирование конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля: автореф. дис. докт. техн. наук. М., 2004. 37 с.
9. Айрумян Э.Л., Каменщиков С.И. Рамные конструкции стального каркаса из оцинкованных гнутых профилей для одноэтажных зданий различного назначения // Мир строительства и недвижимости. 2006. №36. С. 9 -11.
10. Енджиевский Л.В., Тарасов А.В. Численные и экспериментальные исследования рамы каркаса здания из тонколистовой оцинкованной стали // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №10. С. 52-54.
11. Зверев В.В., Жидков К.Е., Семенов А.С., Сотникова И.В. Экспериментальные исследования рамных конструкций из холодногнутого профиля повышенной жесткости // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2011. №4. С.20-24.
12. Айрумян Э.Л., Белый Г.И. Исследования работы стальной фермы из холодногнутого профиля с учётом их местной и общей устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №5. С. 41-44.
13. Семенов А.С. Ферма из холодногнутого профиля повышенной жёсткости с болтовыми соединениями: автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж, 2009. 21 с.
14. Cheng Y., Schafer B.W. Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method // Journal of Constructional Steel Research. 2007. Vol. 63. Issue 5. Pp. 581-590.
15. Schafer B.W., Pekoz T. Laterally Braced Cold-Formed Steel Flexural Members with Edge Stiffened Flange // Journal of Structural Engineering. 1999. №125(2). Pp. 118-127.
16. Yu C., Schafer B.W. Analysis and Testing of Cold-Formed Steel Beams // Advances in Structures: Steel, Concrete, Composite and Aluminium – ASSCCA'03/ - 2003, Sydney. Pp. 123-129.
17. Yu C., Schafer B.W. Local buckling tests on Cold-Formed Steel Beams // Journal of Structural Engineering. 2003. №139(12). Pp. 1596-1606.
18. Кикоть А.А. Влияние ширины поясов и отгибов в сечениях С- и Z-образных стальных тонкостенных холодногнутого профиля на эффективность работы в условиях изгиба // Ползуновский вестник. 2011. №1. С. 70-75.
19. Adany S. Buckling mode classification of members with open thin-walled cross-section by using Finite Strip Method. Research Report / Johns Hopkins University. 2004. 99 p.
20. EN 1993-1-3: 2004 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. CEN, Brussels, 2004. 125 p.
21. EN 1993-1-5: 2003 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements / European Committee for Standardization. CEN, Brussels, 2003. 53 p.
22. Karman Th., Sechler E.E., Donnel L.H. Strength of thin plates in compression // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. 1932. Vol. 54. Pp. 53-57.
23. CFSteel. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.cfsteel.ru> (дата обращения: 20.11.2012).

\* Андрей Александрович Кикоть, Барнаул, Россия  
Тел. раб.: +7 (3852) 25-18-76; эл. почта: [deltaing@mail.ru](mailto:deltaing@mail.ru)

© Кикоть А.А., Григорьев В.В., 2013

doi: 10.5862/MCE.36.12

## Influence of flange width and wall parameters on effectiveness of cold-formed steel Sigma-profile in bending behavior

**A.A. Kikot;**

**V.V. Grigoriev,**

*I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia*

*+7 (3852) 25-18-76; e-mail: deltaing@mail.ru*

### Key words

cold-formed steel profile; Sigma-section; bending; effectiveness; CFSteel

### Abstract

The effectiveness of bending behavior of cold-formed steel profiles is studied. The purpose of the study was to estimate the influence of section parameters - flange width and size of the wall portion, adjacent to the flange – on effectiveness of the operation of flexural element consisting of two Sigma sections.

As a criterion of effectiveness it was accepted the ratio of maximum bending moment available in the zone of elastic behavior of the section to its area reflecting the material consumption. Effective section characteristics are calculated in accordance with Eurocode 3. It was taken into account the local buckling parts of section and distortional buckling. Variable parameters are: flange width and portion of the wall adjacent to the flange.

Calculations were executed by computer program CFSteel. Analysis of obtained results is presented.

### References

1. Ayrumyan E.L. *Montazhnyye i spetsialnyye raboty v stroitelstve*. 2008. No. 3. Pp. 2-7. (rus)
2. Zhmarin E.N. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2012. No. 2. Pp. 27-30. (rus)
3. Smaznov D.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 3. Pp. 42-49. (rus)
4. Gordeeva A.O., Vatin N.I. *Magazine of civil engineering*. 2011. No. 3. Pp. 36-46. (rus)
5. Astakhov I.V. *Prostranstvennaya ustoychivost elementov konstruksiy iz kholodnognutykh profiley* [Spatial buckling of cold-formed elements. Abstract of a Ph.D thesis]. Saint-Petersburg, 2006. 24 p. (rus)
6. Vatin N.I., Rybakov V.A. *Stroyprofil*. 2007. No. 2. Pp. 60. (rus)
7. Lalin V.V., Rybakov V.A., Morozov S.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 1. Pp. 53-73. (rus)
8. Tusnin A.R. *Raschet i proyektirovaniye konstruksiy iz tonkostennykh sterzhney otkrytogo profilya* [Design of constructions from thin-walled open-section bars. Abstract of a Ph.D. thesis]. 2004. 37 p. (rus)
9. Ayrumian E.L., Kamenshchikov S.I. *Mir stroitelstva i nedvizhimosti*. 2006. No. 36. Pp. 9 -11. (rus)
10. Endzhievsky L.V., Tarasov A.V. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*. 2012. No. 10. Pp. 52-54. (rus)
11. Zverev V.V., Zhidkov K.E., Semenov A.S., Sotnikova I.V. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitelstvo i arkhitektura*. 2011. No. 4. Pp. 20-24. (rus)
12. Ayrumyan E.L., Belyy G.I. *Mir stroitelstva i nedvizhimosti*. 2010. No. 5. Pp. 41-44. (rus)
13. Semenov A.S. *Ferma iz kholodnognutykh profiley povyshennoy zhestkosti s boltovymi soyedineniyami* [Truss from cold-formed profiles of high rigidity with bolt connections. Abstract of Ph.D thesis]. 2009. 21 p. (rus)
14. Cheng Y., Schafer B.W. Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method. *Journal of Constructional Steel Research*. 2007. Vol. 63. Issue 5. Pp. 581-590.
15. Schafer B.W., Pekoz T. Laterally Braced Cold-Formed Steel Flexural Members with Edge Stiffened Flange. *Journal of Structural Engineering*. 1999. No. 125(2). Pp. 118-127.
16. Yu C., Analysis and Testing of Cold-Formed Steel Beams *Advances in Structures: Steel, Concrete, Composite and Aluminium*. ASSCCA'03.Sydney, 2003. Pp. 123-129.

Kikot A.A., Grigoriev V.V. Influence of flange width and wall parameters on effectiveness of cold-formed steel Sigma-profile in bending behavior

17. Yu C., Schafer B.W. Local buckling tests on Cold-Formed Steel Beams. *Journal of Structural Engineering*. 2003. No. 139(12). Pp. 1596-1606.
18. Kikot A.A. *Polzunovskiy vestnik*. 2011. No. 1. Pp. 70-75. (rus)
19. Adany S. *Buckling mode classification of members with open thin-walled cross-section by using Finite Strip Method. Research Report*. Johns Hopkins University, 2004. 99 p.
20. EN 1993-1-3: 2004 Eurocode 3. *Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*. CEN, Brussels, 2004. 125 p.
21. EN 1993-1-5: 2003 Eurocode 3. *Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements / European Committee for Standardization*. CEN, Brussels, 2003. 53 p.
22. Karman Th., Sechler E.E., Donnel L.H. Strength of thin plates in compression. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. 1932. Vol. 54. Pp. 53-57.
23. *CFSteel. User's Guide* [Online]. Necessary of Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.cfsteel.ru> (Accessed: 20.11.2012).

**Full text of this article in Russian: pp. 97-102**