

Геометрические характеристики тонкостенных элементов С-образного поперечного сечения

С.В. Скачков

Донской Государственный Технический Университет

Аннотация: Материал рассматриваемых С-образных профилей, изготавливаемых методом непрерывной прокатки – оцинкованная сталь толщиной до 3,0 мм. Тонкостенность и форма поперечного сечения, обуславливает ряд особенностей работы профилей под нагрузкой. Действующие нормы проектирования в дополнение к основным геометрическим параметрам сечений, применяемых при расчетах на продольные и изгибающие усилия (A – площадь поперечного сечения; S_x , S_y – статические моменты сечения; I_x , I_y , I_{xy} – осевые и центробежный моменты инерции), предлагают использование секториальных характеристик. Эти характеристики свойственны только тонкостенным стержням и определяются на основе понятия секториальной площади.

Рассмотрена задача определения геометрических характеристик тонкостенного С-образного профиля. За центр изгиба принимается точка относительно которой момент от касательных сил, возникающих при поперечном изгибе или кручении в поперечном сечении, равен нулю. Положение центра изгиба не зависит от действующих на стержень сил, а зависит только от формы и размеров поперечного сечения тонкостенного стержня.

Ключевые слова: стальные конструкции, расчет конструкций, тонкостенный, профиль, с-образный, геометрические характеристики, центр изгиба.

Применение легких стальных конструкций из гнутых профилей имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными стальными или деревянными конструкциями, использование их в строительстве обусловлено известными достоинствами [1, 5].

Материал рассматриваемых С-образных профилей, изготавливаемых методом непрерывной прокатки – оцинкованная сталь толщиной до 3,0 мм.

Тонкостенность и форма поперечного сечения, обуславливает ряд особенностей работы профилей под нагрузкой.

Действующие нормы проектирования [3, 4] в дополнение к основным геометрическим параметрам сечений, применяемых при расчетах на продольные и изгибающие усилия (A – площадь поперечного сечения; S_x , S_y – статические моменты сечения; I_x , I_y , I_{xy} – осевые и центробежный моменты инерции), предлагают использование секториальных

характеристик. Эти характеристики свойственны только тонкостенным стержням и определяются на основе понятия секториальной площади.

Секториальная площадь:

$$\omega = \int_0^s r dS, \quad (1.1)$$

где r – расстояние от полюса P до касательной к линии контура в точке A .

Секториальный статический момент поперечного сечения:

$$S_{\omega} = \int_A \omega dA = \delta \int_S \omega ds \quad (1.2)$$

Секториальные линейные моменты площади поперечного сечения:

$$S_{\omega x} = \int_A \omega x dA = \delta \int_S \omega x ds \quad (1.3)$$

$$S_{\omega y} = \int_A \omega y dA = \delta \int_S \omega y ds \quad (1.4)$$

Секториальный момент инерции поперечного сечения:

$$I_{\omega} = \int_A \omega^2 dA = \delta \int_S \omega^2 ds \quad (1.5)$$

При кручении тонкостенных стержней с сплошным поперечным сечением, наблюдается депланация сечений, поперечные сечения плоские до деформации, искривляются. Различают свободное и стесненное кручение стержней. При свободном кручении депланация во всех поперечных сечениях одинакова по длине стержня. При стесненном кручении депланациях по длине стержня переменны.

В тонкостенных стержнях открытого профиля при стесненном кручении, наряду с касательными возникают и нормальные напряжения.

Рассмотрена задача определения геометрических характеристик тонкостенного С-образного профиля. Схема поперечного сечения показана на рис. 1.

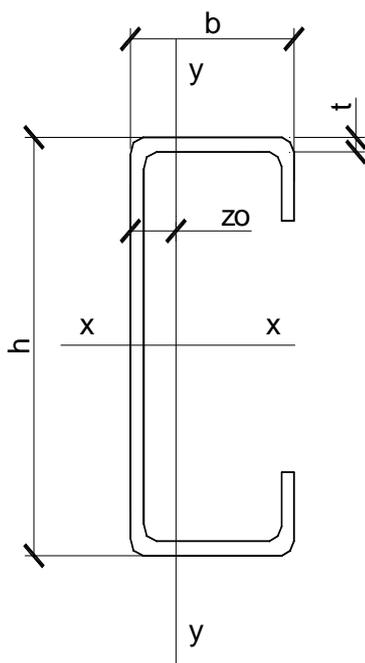


Рис. 1. – Основные виды тонкостенных профилей

Выражения секториальных характеристик получены исходя из предположения, что толщина тонкостенного сечения по всему контуру постоянна и равна t . Профиль заменен на эквивалентное сечение состоящее из прямоугольных элементов, основные характеристики при этом соответствуют указанным в сортаментах. Значения секториальных характеристик могут иметь расхождения не превышающие 5% [2].

За центр изгиба принимается точка относительно которой момент от касательных сил, возникающих при поперечном изгибе или кручении в поперечном сечении, равен нулю. Положение центра изгиба (т.А) не зависит от действующих на стержень сил, а зависит только от формы и размеров поперечного сечения тонкостенного стержня. При известном положении точки изгиба и заданном начале отсчета в каждом конкретном случае может быть построена эпюра секториальной площади (рис. 2).

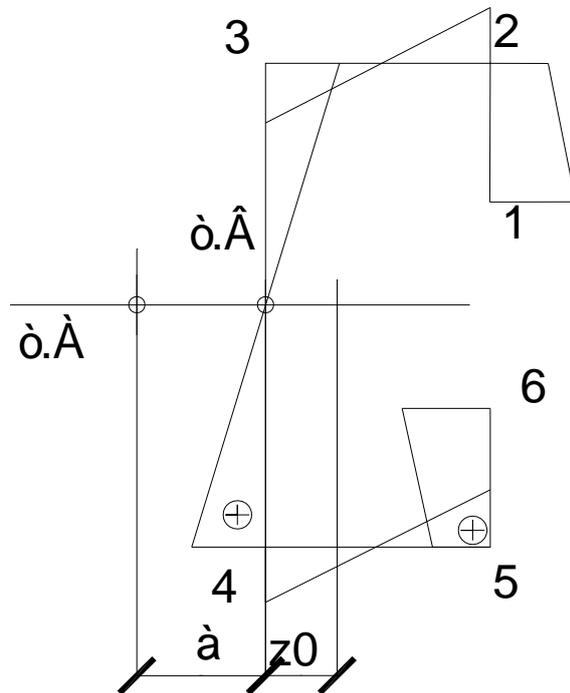


Рис. 2 – Эпюры секториальной площади

Положение центра изгиба и секториальные характеристики сечения можно определить используя следующую последовательность: сначала выбирается положение полюса, (например т.В), строится эпюра секториальной площади ω_B относительно полюса. Определяются величины $S_{\omega Bx}$ и $S_{\omega By}$ и вычисляются координаты центра изгиба по формулам:

$$a_x = \frac{S_{\omega Bx}}{J_x} \text{ и } a_y = \frac{S_{\omega By}}{J_y}. \quad (1.6) \text{ и } (1.7)$$

Выбирается в качестве полюса точку А (центр изгиба сечения), а за начало отсчета принимается точка В (рис. 2), строится эпюра секториальной площади для приведенного сечения. Используя зависимость (1.5) определяются секториальные моменты инерции для учета нормальных

напряжений от бимоента B_ω , возникающего при стесненном кручении открытого профиля. Секториальные моменты инерции определены по способу интегрирования произвольных эпюр [2].

Полученное в результате выражение запишется в виде:

$$J_\omega := \left[\frac{(c-t) \cdot t}{6} \cdot [2(\omega_1 a^2 + \omega_2 a^2) - 2 \cdot \omega_1 a \cdot \omega_2 a] \right] + \left[\frac{(c-t) \cdot t}{6} \cdot [2(\omega_5 a^2 + \omega_6 a^2) - 2 \cdot \omega_5 a \cdot \omega_6 a] \right] + \dots$$

Количество слагаемых в выражении определяться участками эпюры ω по прямоугольным элементам С-образного сечения.

Используя приведенное выражение получены координаты центра изгиба, значения секториальной площади и секториального момента инерции. Габаритные размеры профилей могут назначаться на основании сортаментов профилей предлагаемых предприятиями-изготовителями.

Нормальные напряжения в сечении, согласно закону Гука, определяются выражением:

$$\sigma = E \frac{dW}{dz} = E \left(\frac{dw_0}{dz} + \frac{d\varphi_y}{dz} x + \frac{d\varphi_x}{dz} y - \frac{d\gamma}{dz} \omega \right) \quad (1.8)$$

где w_0 , φ_x и φ_y соответственно - деформации по продольной оси z ; повороты сечения как жесткого целого относительно координатных осей x и y ; γ – удельный угол закручивания относительно продольной оси z , ω – эпюра главной секториальной площади.

Требования норм [4] определяют выражение нормальных напряжений в следующем виде:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x + \frac{B_\omega}{I_\omega} \omega. \quad (1.9)$$

Составляющие нормальных напряжений от действия продольной силы и изгибающих моментов определяются с учетом известных геометрических характеристик. Составляющие напряжений от бимоента отражают

изменения в распределения напряжений вызванные деформацией сечения. Зависимости для определения внутренних усилий запишутся в виде:

$$\begin{aligned} M_y &= \int_A \sigma x dA = EI_y \frac{d\varphi_y}{dz}, \quad N = \int_A \sigma dA = EA \frac{dW_0}{dz}, \\ B_\omega &= \int_A \sigma \omega dA = -EI_\omega \frac{d\gamma}{dz}, \quad M_x = \int_A \sigma y dA = EI_x \frac{d\varphi_x}{dz}, \end{aligned}$$

(1.10)

Литература

1. Айрумян Э.Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО конструкций «БалтПрофиль». М., 2004. 70 с.
2. Бычков Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций / М.: Госстройиздат, 1962. 476 с.
3. Рыбаков В. А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций: учеб. пособие / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 207 с.
4. Петров К.С., Ефисько Д.Е., Нагорный В.С. Современные подходы к модернизации процессов организации строительства // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4026.
5. А.А. Василькин., Э.К. Рахмонов Системотехника оптимального проектирования элементов строительных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203.
6. Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка) 6-е изд. стереотип. - М.: Академия, 2009. - 288 с.
7. Беленя Е.И. Металлические конструкции. - 10 изд. - М. Академия: 2007. - 472 с.



8. Мельников Н.П. Справочник проектировщика. Металлические конструкции промышленных задач — Москва, 1962. — 591 с.

9. R.S. Khurmi, J.K. Gupta Civil Engineering: Conventional and Objective Type. Paperback, 2013. - 336 p.

10. Van Amsterdam, E Construction Methods for Civil Engineering. - 2nd Edition. Soft Cover, 2014. - 260 p.

References

1. Ajrumjan Je.L. Rekomendacii po proektirovaniyu, izgotovleniju i montazhu konstrukcij karkasa malojetazhnyh zdaniy i mansard iz holodnognutyh stal'nyh ocinkovannyh profilej proizvodstva OOO konstrukcij «BaltProfil». [Recommendations for the design, fabrication and installation of frame structures of low-rise buildings and mansards from cold-formed steel zinc-plated profiles produced by LLC Structures «BaltProfil»]. M., 2004. 70 p.

2. Bychkov D. V. Stroitel'naja mehanika sterzhnevyyh tonkostennyh konstrukcij [Construction mechanics of rod-shaped thin-walled structures]. M.: Gosstrojizdat, 1962. 476 p

3. Rybakov V. A. Osnovy stroitel'noj mehaniki legkih stal'nyh tonkostennyh konstrukcij. [Fundamentals of structural mechanics of light steel thin-walled structures]. SPb.: 2011. 207 p

4. Petrov K.S., Efis'ko D.E., Nagornyy V.S Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4026.

5. A.A. Vasil'kin., Je.K. Rahmonov Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203.

6. Adaskin A.M., Zuev V.M. Materialovedenie (metalloobrabotka) [Materials Science (metalworking)]. 6 Edition stereotip. M.: Academy, 2009. 288 p.

7. Belenja E.I. Metallicheskie konstrukcii. [Metal constructions]. 10 Edition. M: Academy, 2007. 472 p



8. Mel'nikov N.P. Spravochnik proektirovshhika. Metallicheskie konchtrukcii promyshlennyh zadach [Reference book of the designer. Metal structures of industrial tasks]. Moscow, 1962. 591p

9. R.S. Khurmi, J.K. Gupta Civil Engineering: Conventional and Objective Type. Paperback, 2013. 336 p.

10. Van Amsterdam, E Construction Methods for Civil Engineering. 2nd Edition. Soft Cover, 2014. 260 p.