

УДК 629.734/.73.5.03

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ИЗГИБА В ТОНКОСТЕННЫХ БАЛКАХ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

студент гр.10107113 Барковский К.Г.

студент гр.10109114 Сушнев А.А.

Научный руководитель – доц. Реут Л.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Тонкостенные прокатные профили - *двутавр, тавр, швеллер* и подобные им (рис. 1), используемые в конструкциях различного рода, характеризуются наличием вертикальных и горизонтальных участков малой толщины и большой протяженности, т.е. здесь

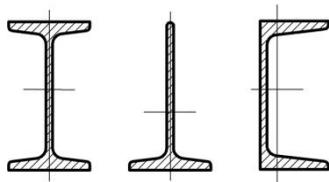


Рис. 1

имеет место резкий перепад размеров по ширине сечения. Такая форма создает целый ряд особенностей их поведения при различных видах деформирования и эта особенность связана с возникающими касательными напряжениями и их направлением.

Рассмотрим плоский изгиб таких сечений. Здесь касательные напряжения будут возникать *вдоль всех протяженных участков*, т.е. не только в направлении оси Y , но и оси X на участках, вытянутых вдоль этой оси. Наличие касательных напряжений перпендикулярных и параллельных нейтральной оси принципиально изменяет условия работы балки и требует соответствующего подхода при оценке ее прочности.

Действующие на горизонтальных и вертикальных участках касательные напряжения создают так называемый **поток касательных напряжений** (рис. 2), параллельный к контурным линиям каждого участка сечения. В сечениях, симметричных относительно оси Y (рис. 2, *а, б*) и плоскости нагружения соответственно, поток касательных напряжений уравновешен и его равнодействующая, равная поперечной силе Q , направлена вдоль оси симметрии и проходит через центр тяжести сечения. Если же сечение несимметрично относительно оси Y , а значит, и

проходящей через нее силовой плоскости, поток касательных напряжений создает момент относительно центра тяжести и оси балки соответственно, который вызывает ее закручивание и искривление (*депланацию*) сечения. Такое явление возникает в балках *швеллерового* профиля (рис. 2, в),

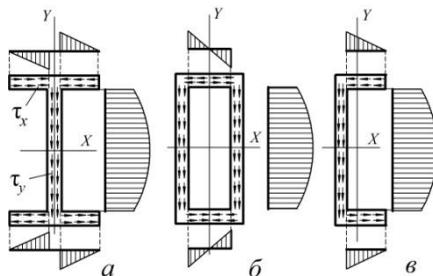


Рис. 2

а также в таврах, *равнобоких* и *неравнобоких* уголках, нагруженных в главной плоскости инерции, не являющейся плоскостью симметрии.

Рассмотрим более подробно распределение касательных напряжений в швеллере. В стенке и полках швеллера появляются касательные напряжения, которые параллельны контурам профиля (рис. 2, в). Равнодействующие касательных сил T_{Π} в полках швеллера, параллельные оси X , проходят посередине толщины полки, противоположно направлены и равны (рис. 3):

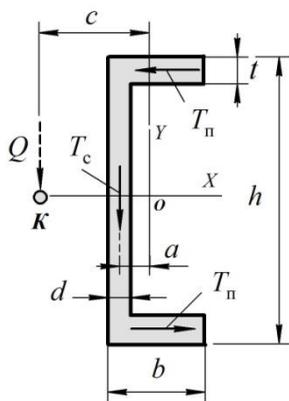


Рис. 3

$$T_{\Pi} = \left(Qhb^2 / 4I_x \right) t, \quad (1)$$

где Q – поперечная сила в сечении; h – высота профиля, b – ширина полки, t – толщина полки швеллера, I_x – момент инерции относительно нейтральной оси.

Равнодействующая касательных сил T_c в стенке швеллера проходит посередине толщины стенки и ее с достаточной точностью можно принять Q (рис. 3):

$$T_3 = Q, \quad (2)$$

Все равнодействующие касательных сил, действующие в полках и стенке, создают момент относительно центра тяжести, на основании выражений (1) и (2) равный:

$$M = T_{\Pi} h + T_c a = \frac{Qh^2 b^2}{4I_x} t + Qa = Q \left(\frac{h^2 b^2}{4I_x} t + a \right), \quad (3)$$

где a – расстояние от середины толщины стенки до центра тяжести.

Поперечную силу Q и момент M , действующие в сечении, можно заменить одной силой Q , но приложенной *не в центре тяжести сечения*, а в точке K на расстоянии c от центра тяжести. Это расстояние определяется из выражения

$$c = \frac{M}{Q} = \frac{h^2 b^2}{4I_x} t + a, \quad (4)$$

а точка K называется **центром изгиба**. Она является центром касательных внутренних сил, действующих в поперечном сечении балки, т. е. точкой приложения равнодействующей этих сил.

Сила Q , приложенная к точке K , должна создавать относительно оси балки момент M того же знака, как и силы T_n и T_c . Расстояние L от точки K до стенки швеллера определяется из выражения:

$$L = c - a = \frac{h^2 b^2}{4I_x} t. \quad (5)$$

Для того чтобы балка испытывала прямой поперечный изгиб, внешние силы не должны создавать момента относительно оси центров изгиба. Если они создают такой момент, то балка, кроме изгиба, подвергается также деформации кручения.

Закручивание сечения существенно изменяет условия работы балки, так как теперь она испытывает изгиб с кручением, что считается наиболее неблагоприятной комбинацией деформаций. Особенно неблагоприятным такое нагружения является для *тонкостенных сечений незамкнутого профиля*, так как их поведение при кручении принципиально отличается от поведения элементов сплошного сечения и даже поведения закрытых тонкостенных сечений.

Исследование изгиба вышеуказанных профилей показывает, что для того, чтобы в балке возникал *плоский поперечный изгиб без закручивания*, силовая плоскость должна проходить через **центр изгиба** или **центр жесткости** – точку, относительно которой сумма моментов всех касательных сил в сечении равна нулю.

Определение положения центра изгиба является одним из наиболее важных расчетов для целого ряда конструкций.

Для сечений в виде *тавра*, *уголка* или других *пучкообразных* сечений (рис. 4) центр изгиба расположен в центре пучка, т.е. на пересечении средних линий прямоугольных участков, из которых состоит сечение.

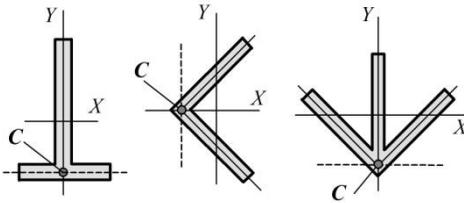


Рис. 4

Действительно, касательные напряжения на каждом участке сечения направлены вдоль длинной стороны и линии их равнодействующих лежат на осях прямоугольников, сходясь в точке пересечения этих осей. Поперечная сила Q как равнодействующая всех касательных сил в сечении будет проходить через эту точку, которая здесь и является центром изгиба. Чтобы в элементах такого профиля создать плоский изгиб без закручивания, силовая плоскость должна проходить либо по оси симметрии сечения, либо по линии, проходящей через центр изгиба и обозначенной пунктиром на рис. 4.

В *зетовом* сечении (рис. 5), главные оси $X-Y$ которого наклонены к полкам, несложно показать, что центр изгиба совпадает с центром тяжести сечения. Здесь касательные силы в полках, также как и в швеллере, одинаковы, но в отличие от швеллера направлены в одну сторону. Поэтому равнодействующая касательных сил, действующих в полках, приложена в центре тяжести сечения, через который проходит и равнодействующая касательных сил в стенке.

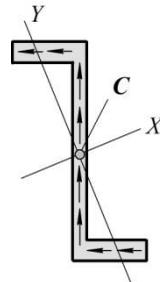


Рис. 5

В *круглом кольцевом* сечении, если оно замкнуто (рис. 6, а), касательные напряжения распределены симметрично и центр изгиба совпадает с центром тяжести сечения.

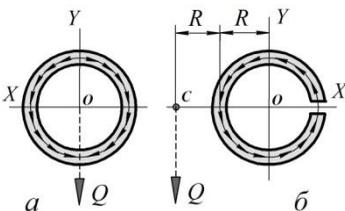


Рис. 6

Если кольцо разомкнуто, поток касательных напряжений будет направлен в одну сторону и сумма моментов касательных сил в сечении будет равна нулю относительно точки, лежащей за пределами сечения на расстоянии $2R$, где R – средний

радиус кольца (рис. 6, б).

В сечениях более сложной конфигурации положение центра изгиба определяется специальными методами, изучаемыми в теории изгибно–крутильных деформаций тонкостенных стержней.

В заключении следует сказать, что стремление к закручиванию является следствием наличия поперечной силы и касательных напряжений на участках сечения. При чистом изгибе опасности закручивания нет даже для несимметричных сечений, поскольку в этом случае касательные напряжения в точках сечения равны нулю, а нормальные напряжения имеют тот же закон изменения, как и в симметричных сечениях.

Литература

1. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 590 с.
2. Дарков, А.В., Шпиро, Г.С. Сопротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М.: Высшая школа, 1969. – 720 с.