

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОТКРЫТЫХ ПРОФИЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ УСИЛЕНИЕМ НА КРУЧЕНИЕ

КОНОНОВИЧ К. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. При проектировании строительных конструкций наибольшее применение находят конструктивные схемы с использованием открытых тонкостенных профилей. Они имеют ряд преимуществ по сравнению со стержнями закрытого профиля, ввиду простоты изготовления и эксплуатации. Поэтому чаще всего применяются стержни незамкнутого профиля из прокатных двутавров, швеллеров и т. д.

При этом, тонкостенные открытые профили имеют один недостаток, а именно низкую, по сравнению с закрытыми профилями, сопротивляемость крутящим моментам.

Работа открытых профилей на кручение. Работа открытых профилей при кручении имеет определённый характер. При приложении крутящего момента в открытых профилях перестаёт выполняться гипотеза плоских сечений. Это означает, что поперечное сечение стержня бывшее плоским до приложения нагрузки, после нагружения деформируется и превращается в криволинейную поверхность. При этом точки поперечного сечения перестают лежать в одной плоскости и выходят из неё. Такое явление называется депланацией сечения. Если концы стержня зашпелены, то при депланации сечения, в элементе помимо касательных напряжений появляются ещё и нормальные напряжения, вызванные возникающим из-за депланации бимоментом. Так же, открытые профили, имеющие низкую крутильную жёсткость, подвержены потере устойчивости по изгибно-крутильной форме.

Усиление открытых профилей. Исходя из перечисленного, следует вывод, что значительная разработка и обоснование какого-либо конструктивного или иного метода, который позволит сохранить преимущества стержней открытого профиля и придать им

преимущества стержней закрытых профилей (значительное увеличение сопротивления кручению). Впервые такие мероприятия были предложены автором теории расчёта упругих стержней, профессором Власовым В. З. в его монографии [3]. Метод предложенный Власовым заключался в добавлении к стержням поперечных планок, закрепляющие продольные края от взаимного продольного смещения, тем самым значительно уменьшающие деформации поперечного сечения стержня при кручении.

В ЦНИПСе в 1993 г. профессором Бычковым Д. В. и кандидатом технических наук Мрощинским А. К. были проведены эксперименты, подтвердившие теорию Власова. Некоторые результаты этих экспериментальных исследований были представлены в [2].

Во всех этих исследованиях в основном изучалось влияние бимоментных связей на сопротивление стержня кручению, а также влияние этих связей на возникновение напряжений от деформации сечения. В основном бимоментные связи были в виде планок соединяющие полки двутавров. Эти двутавры работали на свободное кручение, стеснённое кручение и кручение с изгибом.

По результатам исследований можно сделать вывод о значительном повышении крутильной жёсткости GI_k . Т. к. момент инерции стержня при свободном кручении имеет значительное влияние на устойчивость стержня при изгибе, можно сделать вывод о её повышении. Неизученными остаются вопросы о влиянии бимоментных связей на устойчивость тонкостенных открытых стержней при изгибе и влияние на крутильную жёсткость иных видов усиления.

Описание моделей для исследования. Исследование кручения двутавров осуществлялось путём конечно-элементного твердотельного моделирования в программе ANSYS. Для этого создавались три пространственные модели двутавров сечением 30Б1 и длиной 6 м. Первая модель была выполнена без усиления. Вторая усиливалась поперечными ребрами жесткости с шагом 300 мм и толщиной 6 мм. Третья модель усиливалась раскосами, приваренными к полкам двутавра. Раскосы были замоделированы из равнополочного уголка 25×3 . Модели разбивались на конечные элементы максимальным размером 40 мм. Для первого нагружения задавалась жёсткая опора с одного конца двутавра, а с другого прикладывался крутящий момент величиной 1 кНм.

Так же были рассчитаны перемещения элемента вдоль продольной оси стержня. Эти перемещения в данном случае и вызваны деформацией сечения.

Во втором нагружении нагрузка прикладывалась на верхний пояс в виде равномерно-распределённой нагрузки величиной 1 кН/м. Затем выводились изополя нормальных и касательных напряжений.

Так же интерес при таком нагружении представляют вертикальные перемещения. На значение перемещений основное влияние оказывает изгибная жёсткость EI, следовательно, анализируя полученные данные о перемещениях, можно сделать вывод о влиянии тех или иных видах усиления на изгибную жёсткость.

Помимо этого, для второго нагружения был произведён расчёт потери общей устойчивости изгибаемых элементов. По результатам расчёта были определены критические моменты и перемещения в двух первых формах потери устойчивости.

Для сравнения все полученные данные сведены в табл. 1. В этой таблице в графе расчётное значение записывались величины, полученные вычислением по формулам из сопротивления материалов. Для проверки правильности значений, полученных при конечно-элементном моделировании, стоит сравнить данные, вычисленные при вычислении и по первой модели. Полученные результаты имеют незначительные расхождения. Наибольшее расхождение (около 8,7 %) имеют наибольшие нормальные напряжения. Это связано с наличием в модели зон, находящихся близко к заземлённым граням, что вызывает в этих зонах локальные всплески напряжений. Такие всплески, при быстром угасании, являются погрешностью и в расчёте не учитываются. Остальные расхождения значений являются незначительными и обусловлены тем, что конечно-элементный метод является численным методом и имеет определённую точность. Следовательно, можно считать полученные модели достаточно достоверными.

Сравнивая полученные результаты по первому нагружению можно сделать заметить, что наличие рёбер жесткости увеличивает сопротивление открытого профиля крутящим нагрузкам: касательные напряжения уменьшились на 16,8 %, угол поворота на 34 %, момент инерции при кручении увеличился на 20,38 %. Так же стоит отметить, что деформация сечения уменьшились с 1,0654 мм до 0,6988 мм, на 34,4 %.

Таблица 1

Модель	Расчётное значение	Балка	Балка с ребрами жесткости	Балка с раскосным усилением
Нагружение 1 (Кручение)				
Наибольшее касательное напряжение, МПа	25,05	26,1	21,7	5,9
Наибольшее нормальное напряжение, МПа	0	255,850	177,28	81,49
Депланация, мм	–	1,0654	0,6988	0,061
Угол поворота, градусы	23,72	23,89	15,74	1,107
Момент инерции при кручении (I_k)	6,65	6,38	7,68	28,23
Нагружение 2 (Изгиб)				
Наибольшее нормальное напряжение, МПа	42,45	46,17	40,36	41,12
Деформация, мм	13,51	13,548	13,46	13,42
Момент инерции I_x	6319	6244,49	6295,52	6314,29
Нагружение 3 (Потеря общей устойчивости при изгибе)				
Критический момент, кНм	112,47	110,01	142,02	509,4

Раскосное усиление при этом даёт снижение напряжений на 77 %, угла поворота на 95,36 %, и депланаций на 94,27 %. Увеличение момента инерции при кручении составила 342,47 %. Такое увеличение характеристик является весьма значительным. Каждый из элементов жёсткости увеличивает крутильную жёсткость, однако раскосное усиление является гораздо эффективнее.

При нагружении 2 и работе балок на изгиб в обоих случаях усиления, изменение в деформации и момента инерции незначительны

и составляют менее 1,5 %. Такие изменения в изгибной жёсткости являются незначительными.

При нагружении 3 моделировалась потеря устойчивости при изгибе. Критический момент увеличивается на 363 % при раскосном усилении и на 29 % при усилении ребрами жёсткости.

Полученные результаты говорят о том, что раскосное усиление очень сильно увеличивает сопротивление открытого профиля крутящим нагрузкам повышая его крутильную жёсткость, и снижает напряжения и депланации возникающие в сечении. Уменьшение депланаций уменьшает возникающий в сечении бимомент и соответственно нормальные напряжения.

Заключение. По сравнению с ребрами жёсткости усиление решёткой является гораздо более эффективным. Однако, несмотря на повышение крутильной жёсткости, раскосное усиление не оказывает влияния на изгибную жёсткость.

С учётом того, что большие крутильные нагрузки встречаются довольно редко, увеличение крутильной жёсткости положительно сказывается на устойчивости балки. С таким усилением, значительное повышение общей устойчивости становится возможным без создания дополнительных раскреплений по длине балки. Бимоментные связи могут использоваться для повышения крутильной жёсткости как при новом строительстве, так и при усилении уже существующих конструкций. Наиболее рациональными их применение будет при проектировании отдельно стоящих стоечно-балочных конструкций, эстакад, балок под трубопроводы, подкрановых балок, а также в конструкциях в которых использование раскреплений горизонтальными связями конструктивно не представляется возможным.

Очевидно, что такой тип усиления представляет интерес для дальнейшего изучения и экспериментального обоснования. Изучение этого вопроса, а также создание рекомендаций и методики расчёта, может оказать влияние на развитие как конструктивных методов усиления существующих конструкций, так и на создание новых конструктивных форм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков, Д. В. Структура механических стержневых тонкостенных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – 475 с.

2. Бычков, Д. В. Кручение металлических балок / Д. В. Бычков, А. К. Мрощинский. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1944. – 260 с.

3. Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.

4. СНиП П-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2008 г. – 89 с.

УДК 691.328.32

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ НА УСАДКУ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

МОСКАЛЬКОВА Ю. Г., СЕМЕНЮК С. Д., РЖЕВУЦКАЯ В. А.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Введение. Первопричиной усадки керамзитобетона является уменьшение в цементном геле свободной воды и воды, окружающей кристаллы гидросиликатов кальция, в результате чего происходит сближение кристаллов [13]. Возникновение капиллярного давления в порах цементного камня также оказывает существенное влияние на усадку.

Некоторые исследователи утверждают, что усадка керамзитобетона относительно мала [6, 7, 9, 10]. Например, приведенные в [15] значения усадки легкого бетона примерно равны значениям усадки тяжелого бетона.

Однако объективно значение усадки керамзитобетона до 20 % больше, чем у равнопрочного тяжелого бетона. Это связано с тем, что в тяжелых бетонах усадка протекает в растворной составляющей цементного компонента, а в керамзитобетоне усадка возникает не только в растворной составляющей, но и в гранулах крупного заполнителя [8]. Авторами [11] предложено рассматривать керамзитобетон как биактивную систему, так как крупный заполнитель активно влияет на характер и процесс усадки.

Стесненная усадка. На стесненную усадку керамзитожелезобетонных конструкций оказывают влияние: класс легкого бетона, ко-