

УДК 519.6

Коханский С.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Уласевич В. П.

К НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СТЕРЖНЕЙ С ГОФРИРОВАННОЙ (РИФЛЕННОЙ) СТЕНКОЙ В СРАВНЕНИИ СО СВАРНЫМИ ДВУТАВРАМИ С ПЛОСКОЙ СТЕНКОЙ

1. Введение. Металлические стержни двутаврового сечения, как конструктивные элементы, представляют собой тонкостенные профили, состоящие из набора пластинок, соединенных между собой сваркой, образуя поперечные сечения замкнутого или открытого профиля. Среди многочисленных типов поперечных сечений металлических стержней особое место занимает двутавровое сечение, которое очень хорошо подходит с точки зрения работы материала на изгиб, т. к. при изгибе верхняя полка хорошо работает на сжатие, а нижняя – на растяжение. При этом в стенке нормальные напряжения небольшие, поэтому нет смысла изготавливать ее толстой. Но если стенка, воспринимающая сдвиг, будет слишком тонкой, то она склонна терять устойчивость, поэтому её приходится изготавливать достаточно толстой, что неэффективно с точки зрения потребления металла. Отсюда поиск конструктивных решений сечений со стенками, достаточными для восприятия поперечных сил, но не теряющими местную устойчивость от напряжений сдвига. Поэтому на протяжении многих десятилетий зарекомендовали себя положительно «перфорированные балки» и «балки с тонкой стенкой».

Существует другой путь получить экономичное по расходу стали двутавровое сечение стержня путем снижения толщины стенки. Для этого рекомендуется применить в качестве несущих конструктивных элементов *двутавровые стержни с гофрированной стенкой* [1, 2, 3], по терминологии [4] – *Sin-балки* (рисунок 1).



Рисунок 1 – Стальной каркас здания из двутавровых стержней с гофрированной стенкой

В *Sin-балке* стенка имеет форму волны, что позволяет ей иметь хорошую устойчивость, а поэтому такую стенку можно сделать гораздо тоньше обычной.

Возможность оценки несущей способности *гофро-балки* в нормах РФ, гармонизированных с нормами СНиП II-23-81*, впервые отражена в 2017 г. в СП.1325800.2017 – Конструкции стальные. Правила проектирования. Такой поздний интерес к нормативной оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) *гофробалок* в нормах РФ связан с тем, что до недавнего времени они не имели широкого применения в строительной практике РФ, несмотря на то, что научная общественность СССР, а в последующем и стран СНГ, постоянно проявляла к ним повышенный интерес. Достаточно сказать, что эксперименты с использованием стержней с волнистой стенкой впервые произвел российский ученый профессор Горнов В. Н., опубликовав в 1937 году свои исследования, которые были успешно использованы только в 1966 году в Швеции. Им же было указано на повышенную трудоемкость их изготовления.

Широкое применение в практике проектирования и строительства зданий с использованием в качестве несущих конструкций двутавровых стержней с гофрированной стенкой началось, когда в 90-х годах прошлого столетия на строительном рынке заявила о себе австрийская компания ZEMAN BAUELEMENTE, разработавшая автоматизированную технологическую линию по изготовлению балок с гофрированной стенкой со скоростью до двух метров в минуту. Оборудование компании ZEMAN BAUELEMENTE позволяет получить *Sin-балки* высотой от 0,3 до 1,5 м, максимальная длина одной балки — 20 м. Поскольку изготавливаемые компанией ZEMAN BAUELEMENTE *Sin-балки* позволяют перекрывать пролеты до 40 м, их конструктивные решения конкурентно способны с фермами до 36 м.

2. Достоинства стержней с гофрированной стенкой. Апробацию применения изготавливаемых *Sin-балок* компания ZEMAN BAUELEMENTE провела в 1998 году в Польше под Катовице на строительстве здания магазина площадью 55000 м² для компании Metro. выиграв тендер. Здание магазина было построено за три месяца, где в качестве несущих элементов каркаса ZEMAN BAUELEMENTE предложила использовать в проекте изготавливаемые *Sin-балки* на своей автоматизированной линии, что позволило сэкономить на строительстве 700 тонн стали.

В настоящее время многочисленными исследованиями доказаны их очевидные преимущества в сравнении с другими стержневыми конструкциями:

- Экономия металла по сравнению с традиционными прокатными двутаврами: материалоемкость гофробалок на (20 ÷ 30) % меньше в сравнении с обычными сварными балками и на (40 ÷ 60) % меньше в сравнении с горячекатаными;

- Высокая надежность работы балок с гофрированными стенками под статическими и динамическими воздействиями, что доказано экспериментально [5];

- Отпадает необходимость в постановке поперечных ребер жесткости, за исключением опорных мест и мест сосредоточения значительных сил;

- Благодаря высокой антикоррозийной защите (оцинкованное покрытие), отпадает необходимость в дополнительной обработке гофробалок;

- При больших пролётах (до 40 м) высота классической фермы может достигать 2,4 м и более, в то время как высота балки с гофрированной стенкой такой же жесткости доходит до 1,5 м при толщине стенки 1.5 ÷ 3 мм. Поэтому здание можно сделать ниже, сэкономив на ограждающих конструкциях и на отоплении, так как обогреваемый объем здания будет меньше, а полезный – останется без изменений;

- Ригели каркасов в виде балок с гофрированной стенкой отличаются высокой малоцикловой прочностью при минимальной металлоемкости;

– Внешний вид гофробалок, используемых в зданиях в качестве основных несущих конструкций, может служить их характерным элементом дизайна.

3. К оценке несущей способности стержней с гофростенкой. Оценка напряженно-деформированного состояния стержней с гофрированной стенкой рассмотрена в данной статье с позиций анализа основных теоретических предпосылок, многократно подтвержденных теоретически и экспериментально в [1, 2, 3, 4, 5], в которых установлено следующее:

а) нормальные напряжения σ , возникающие от изгиба, наблюдаются в стенке только у поясов (полок) и быстро затухают до нуля, так как стенка поперек гофр сопротивляться не может (рисунок 2,а); касательные напряжения τ распределяются по высоте стенки практически равномерно (рисунок 2,б);

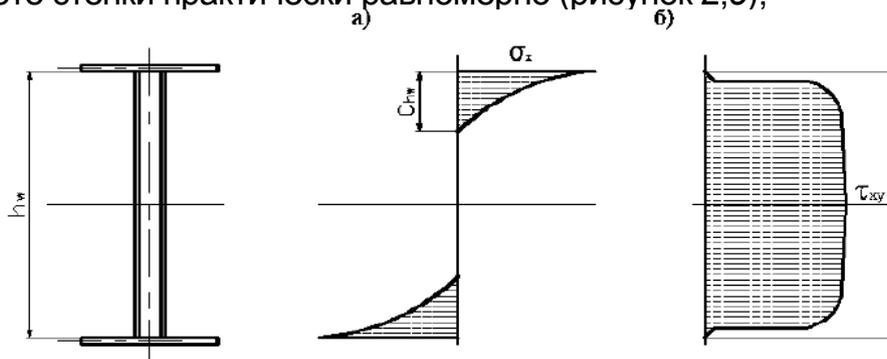


Рисунок 2 – Характер распределения напряжений в сечениях стержней

б) гофры стенки передают усилия на пояс, заставляя его испытывать определенный, меняющийся по направлениям изгиб в своей плоскости;

с) несущая способность гофрированных стержней в сравнении с балками с тонкой плоской стенкой повышается, так как пояс не испытывает изгиба в плоскости балки, как это происходит в балках с тонкой стенкой, а предельное состояние поперечного сечения не наступает, так как гофрированная в поперечном направлении стенка не приводит к потере ей местной устойчивости под воздействием сосредоточенных сил;

д) характер предельного состояния стержней с гофростенкой зависит от гибкости стенки (λ_w), параметров гофров, наличия ребер жесткости в зонах сосредоточенных сил и на опорах;

е) стенка и пояса воспринимают только те усилия, которые действуют в плоскости их поперечного сечения, поэтому напряжения от изгибающих моментов и продольных сил воспринимают пояса, а касательные напряжения, вызванные поперечными силами, воспринимаются только стенкой.

ж) экспериментальные исследования показали, что несущая способность Sin-балок несколько выше, чем балок с тонкой или гибкой стенкой, так как в них пояса не испытывают изгиба в плоскости балки [1, 2, 3].

4. О нормативных документах по расчету стержней с гофростенкой. Для оценки несущей способности и деформативности стержней с гофрированной стенкой разработана нормативная документация, в основу которой положены теоретические и экспериментальные исследования, анализ и оценка которых кратко изложены в п.3 настоящей статьи. В работе [5] приведены как особенности применения к расчету стальных стержней с гофростенкой норм Еврокода 3, действующих в Республике Беларусь [6], так и нормы проектирования стальных конструкций Российской Федерации [7, 8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании изученного и изложенного в настоящей статье материала можно сделать следующие выводы:

1. Применение в проектировании металлических каркасов в зданиях различного функционального назначения стержней с гофрированной стенкой позволяет существенно снизить материалоемкость (на 15÷30)% на основе более рационального распределения стали как строительного материала;

2. Несущая способность балок с гофрированной стенкой выше, чем балок с плоской стенкой за счет большей местной устойчивости стенки и возможности принять ее более тонкой (2 – 3) мм;

3. Наиболее экономичной формой стальных колонн рам, работающих на горизонтальные сейсмические нагрузки только одного направления, является стальной двутавр с гофростенкой [4];

Список цитированных источников

1. Кудрявцев, С.В. Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок (часть I: Методика расчета) / С.В. Кудрявцев; ГОУ ВПО «Уральский государственный технический ун-т – УПИ». – Екатеринбург, 2007. – 17 с.

2. Лазнюк, М.В. Балки з тонкою поперечно гофрованою стінкою при дії статичного навантаження : автореф. дис. на здоб. наук. ступ. к. т. н : спец. 05.23.01 / М.В. Лазнюк. – Київ, 2006. – 18 с.

3. Zeman & Co Gesellschaft mbH. Балки с гофрированной стенкой. Техническая документация. Текст. / Zeman (Zeman Beteiligungsgesellschaft mbH). – Vienna, Austria, 1993. – 13 p.

4. Остриков, Г.М. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий / Г.М. Остриков, Ю.С. Максимов. – Алма-Ата (Казахстан), 1985. – 120 с.

5. Уласевич, В.П. Особенности оценки несущей способности стержней с гофрированной (рифленой) стенкой / В.П. Уласевич, С.С. Коханский // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве: сб. статей Международной научно-практической конференции: 27 марта 2020 года. – Брест: БрГТУ; 2020. – С. 189–196.

6. ТКП EN 1993-1-5. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5. Пластинчатые элементы конструкций / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2014. – 51 с.

7. Конструкции стальные. Правила проектирования: СП 294.1325800.2017 / Министерство строительства и коммунального хозяйства РФ. Издание официальное. Разработан АО НИЦ «Строительство» – ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко» и др. Российская Федерация. – Москва, 2017. – 167 с.

8. Стальные конструкции: СП 16.13330.2017 – СНиП II-23-81* Приказ № 126/пр. / Минстрой РОССИИ. – Москва, 2017. – 148 с.

УДК 378.147

Левчук А. А.

Научный руководитель: к.т.н. Акулова О. А.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTOCAD

AutoCAD на сегодняшний день является одной из наиболее мощных систем автоматизированного проектирования (САПР) для персональных компьютеров. Ее возможности не ограничиваются созданием 2D- и 3D-графики, а позволяют, в том числе, и реализовывать программирование. Это очень сложные вопросы, требующие подготовки и специальных знаний. Однако применение таких технологий открывает перед инженером совершенно новые