



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

№4, ТОМ 14 (2008) 237-244

УДК 624.014

(08)-0169-1

## **ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ З ТОНКОЮ ПОПЕРЕЧНО-ГОФРОВАНОЮ СТІНКОЮ**

**О.Я. Мартинюк<sup>1</sup>, О.О. Нілов<sup>2</sup>, М.В. Лазнюк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ТОВ „ПЕМ Україна”, Zetan Group, 4/10, пр. Тбіліський, 03055, м. Київ, Україна.

E-mail: martyniuk@pem.com

<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури,  
31, проспект Повітрофлотський, 03037, м. Київ, Україна.

E-mail: tati@lira.kiev.ua

<sup>3</sup>Державний науково-дослідний інститут автоматизованих систем в будівництві,  
2А, вул. М.Кривоноса, 03037, м. Київ, Україна.

E-mail: lazniuk@pem.com

Отримана 20 жовтня 2008; прийнята 27 жовтня 2008

**Анотація.** В статті обговорюються проблеми проектування і виготовлення сталевих конструкцій двотаврового перерізу з тонкою гофрованою стінкою. Розглядаються технічні проблеми зварювання тонких стінок із поясами, фланцями і ребрами, які виконуються із товстолистової сталі. Відмічається, що питання про зварні шви тонких гофрованих стінок товщиною 2...3 мм з товстими поясами і опорними ребрами або фланцями, товщини яких на практиці можуть сягати 30...40 мм, з точки зору вітчизняних нормативних документів є нерозв'язаним. Основною метою даної роботи є обговорення і обґрунтування можливості застосування при виготовленні конструкцій двотаврового перерізу з гофрованою стінкою зварних швів, які відрізняються від тих, що регламентуються нормами України. Аналізується технологія виготовлення таких конструкцій. Пропонується заводські зварні з'єднання елементів таких конструкцій виконувати за розробленими й апробованими в Україні й зарубіжжі технологічними інструкціями. Надійність таких з'єднань підтверджена численними дослідженнями, а також багаторічним досвідом використання в практиці будівництва.

**Ключові слова:** зварний двотавр, тонка гофрована стінка, поясний зварний шов.

## **СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ С ТОНКОЙ ПОПЕРЕЧНО-ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ**

**А.Я. Мартынюк<sup>1</sup>, А.А. Нилов<sup>2</sup>, М.В. Лазнюк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ООО „ПЕМ Украина”, Zetan Group, 4/10, пер. Тбилисский, 03055, г. Киев, Украина.

E-mail: martyniuk@pem.com

<sup>2</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры,  
31, проспект Воздухофлотский, 03037, г. Киев, Украина.

E-mail: tati@lira.kiev.ua

<sup>3</sup>Государственный научно-исследовательский институт автоматизированных систем в строительстве, 2А, ул. М.Кривоноса, 03037, г. Киев, Украина.

E-mail: lazniuk@pem.com

Получена 20 октября 2008; принята 27 октября 2008

**Аннотация.** В статье обсуждаются проблемы проектирования и изготовления стальных конструкций двутаврового сечения с тонкой гофрированной стенкой. Рассматриваются технические проблемы сваривания

тонких стенок с поясами, фланцами и ребрами, выполненными из толстолистовой стали. Отмечается, что вопрос о сварных швах тонких гофрированных стенок толщиной 2...3 мм с толстыми поясами и опорными ребрами или фланцами, толщины которых на практике могут достигать 30...40 мм, с точки зрения отечественных нормативных документов является неразрешенным. Основной целью данной работы является обсуждение и обоснование возможности применения при изготовлении конструкций двутаврового сечения с гофрированной стенкой сварных швов отличных от регламентируемых в нормах Украины. Анализируется технология изготовления таких конструкций. Предлагается заводские сварные соединения элементов таких конструкций выполнять по разработанным и апробированным на Украине и зарубежом технологическим инструкциям. Надежность таких соединений подтверждена многочисленными исследованиями, а также многолетним опытом использования в практике строительства.

**Ключевые слова:** сварной двутавр, тонкая гофрированная стенка, поясной сварной шов.

## T ELEMENTS AND THIN CROSS-CORRUGATED WEB

A.Ya. Martyniuk<sup>1</sup>, A.A. Nilov<sup>2</sup>, M.V. Laznyuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*PEM Ukraine Ltd., Zeman Group, 4/10, Tbilissky Lane, Kiev 03055, Ukraine.*

*E-mail: martyniuk@pem.com*

<sup>2</sup>*Kyiv National University of Construction and Architecture,*

*31, Vozduhoflotsky Ave., Kiev 03037, Ukraine.*

*E-mail: tati@lira.kiev.ua*

<sup>3</sup>*State Research Institute of the Automated Systems in Construction,*

*2A, M. Krivonosa Str., Kiev 03037, Ukraine.*

*E-mail: lazniuk@pem.com*

*Received 20 October 2008; accepted 27 October 2008*

**Abstract.** There are discussed the problems of designing and producing double-T steel structures with a thin corrugated web. There are considered engineering problems of welding thin webs and girdles, flanges and ribs made of thick sheet steel. It is noted that the problem of welded seams of corrugated webs as thick as 2...3 mm and thick girdles and bearing ribs or flanges which in practice can be as thick as 30-40 mm remains unsolved in the terms of the home normative documents. The main aim of this article is to discuss and substantiate a possibility of using double-T structures with a corrugated web of welded seams different from those approved in Ukraine when producing structures. There is analyzed a technology of producing such structures. Factory-welded connections of the elements of such structures are suggested to be done by the technological instructions developed and approbated both in Ukraine and abroad. The reliability of such connections has been proved by numerous tests and researches as well as by the lasting experience of their use in construction.

**Keywords:** welded double-T profile, thin corrugated web, web-flange welded connection.

В настоящее время в легком строительстве широко применяются стальные конструкции, выполняемые из двутавров с гофрированной стенкой (рис.1).

Гофрирование стенки, в первую очередь, позволяет существенно повысить ее устойчивость при работе на сдвиг, что, в свою очередь, приводит к значительной экономии материала и трудозатрат при изготовлении конструкций. Среди ряда достоинств гофрирования особо следует отметить снижение остаточных сварочных напряжений и короблений изготавливаемых

профилей при сваривании стенки с поясами и ребрами. Гофрирование, как путь снижения остаточных сварочных деформаций и напряжений, достаточно широко используется в различных областях строительства и машиностроения, например, в вагоно-, кораблестроении и др. [1].

Такие конструкции также в ряде случаев могут использоваться для силовых рам машин и установок по производству строительных конструкций (рис.2).

Рассматриваемые в данной работе конструкции достаточно давно известны у нас и зарубежом,



Рис.1. Рамы двутаврового сечения с гофрированной стенкой.

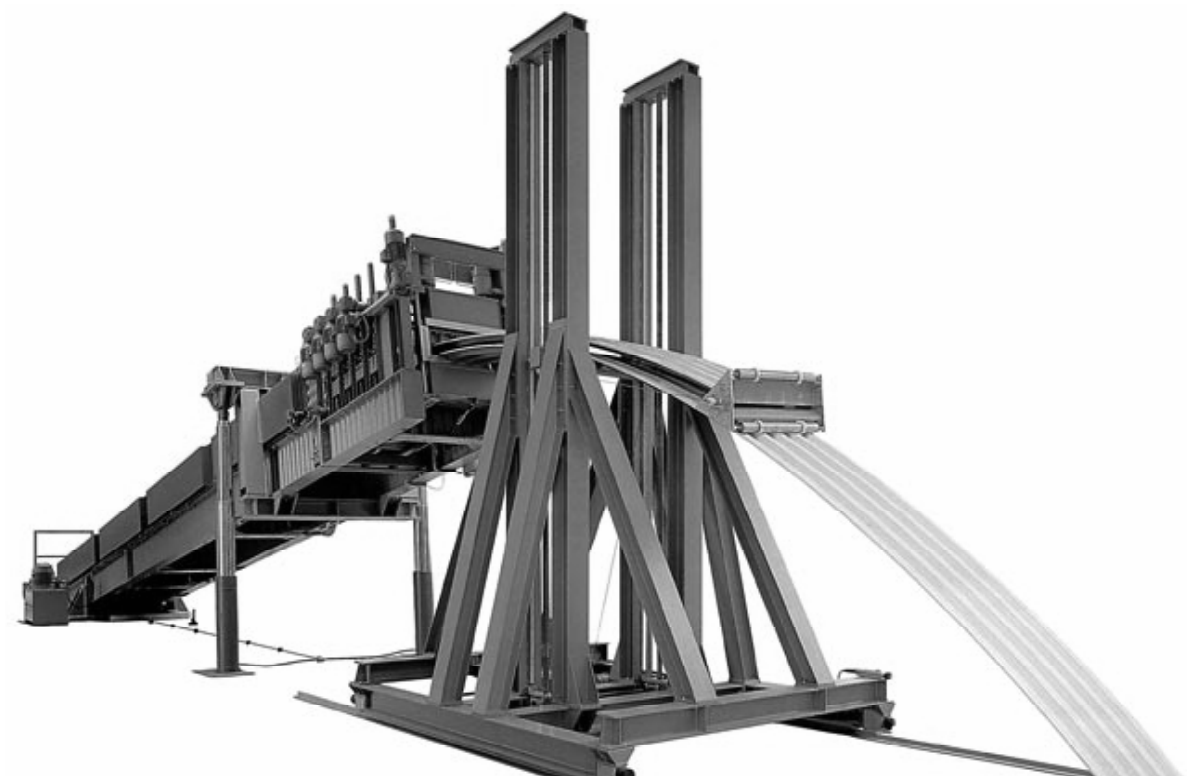


Рис.2. Установка для изготовления арочных гнутых профилей.



**Рис.3.** Линия для сваривания гофрированных стенок с поясами.

а)



б)



в)



**Рис.4.** Поясные швы:

а – выпуклый; б – вогнутый; в – пологий.

однако массовое их использование из-за сложностей выполнения поясных сварных швов сложной конфигурации стало возможным сравнительно недавно. Наиболее эффективны новые технологии и оборудование, разработанные специалистами австрийской фирмы Zeman Group [2, 3].

В практике строительства в качестве стенки таких двутавров используется тонкий листовой профиль волнистого (синусоидального), трапециидального и треугольного очертания, который соединяется с поясами двутавра, как правило, непрерывным односторонним сварным швом. Сегодня в Украине с помощью таких технологий изготавливаются [4] и широко используются конструкции с синусоидальной стенкой, которая по данным многочисленных исследований является наиболее устойчивой по сравнению с другими видами гофров [2, 5-7] и технологически наиболее целесообразной [2].

Необходимость включения указаний по расчету и проектированию конструкций двутаврового сечения с гофрированной стенкой в состав нового ДБН «Стальные конструкции» [8] обсуждалась на IX Украинской научно-технической конференции в г. Киеве [9]. При этом отмечалось, что вопрос о сварных швах тонких гофрированных стенок толщиной 2...3 мм с толстыми поясами и опорными ребрами или фланцами, толщины которых на практике могут достигать 30...40 мм, с точки зрения отечественных нормативных документов является неразрешенным [8, 10, 11]. Основной целью данной работы является обсуждение и обоснование возможности применения при изготовлении конструкций из двутаврового сечения сварных швов отличных от регламентируемых в нормах Украины [8, 10].

Изготовление сварных двутавров с тонкой гофрированной стенкой в настоящее время в Украине выполняется с помощью технологий, разработанных фирмой Zeman, на полностью автоматизированных линиях (рис.3). Поясные швы выполняются автоматической сваркой по методу TIME (Transferred Ionized Molten Energy-) Process в среде защитной смеси газов: углерода – 18 % и аргона – 82 % [2-4, 21]. При этом выполняется компьютерное регулирование и контроль всех параметров режима сварки – сварочный ток, напряжение на дуге, длина дуги и вылет электрода, скорость сварки, скорость и угол подачи сварочной проволоки, расход газа и др.

Такой технологический процесс предполагает выполнение одностороннего таврового сварного соединения гофрированной стенки с поясами или фланцами (рис.4). При отслеживании сварочными роботами синусоиды шва автоматически изменяется угол наклона сварочного сопла для того, чтобы наплавленный металл не стекал по гребню волны в еще непроваренный шов. Поэтому при выполнении шва на подъеме волны шов получается выпуклым (рис.4, а) за счет того, что часть наплавленного металла стекает вниз по уже пройденному пути, а на склоне волны образуются вогнутые (рис.4, б) или пологие (рис.4, в) швы. При этом такие технологические процессы разработаны для каждой из применяемых толщин стенки и включают в себя более 16 точек с различными параметрами режима сварки при сваривании одной полуволны гофра [21]. Параметры сварных швов в соответствии с [4] приведены в табл.1.

Таблица 1. Параметры сварных швов.

Толщина стенки $t_w$ , мм	Катет шва по поясу* $k_{ff}$ , мм	Катет шва по стенке* $k_{fw}$ , мм
2,0	3,5	3,0
2,5	4,0	4,0
3,0	5,0	4,5
* – допустимые отклонения $k_{ff}$ и $k_{fw} \pm 0,5$ мм		

Как видно из табл.1, нормативное [10] условие  $k_f \leq 1,2t_{min}$  не всегда выполняется. Это условие должно предотвратить возникновение прожогов, что особенно опасно при сварке тонколистового металла (до 3 мм). Однако в литературе по сварочным работам приводится достаточное количество простых способов как этого избежать [19]. Касательно же двутавров с гофрированной стенкой, в работе [2] указывается, что при наложении шва посредством указанных технологий провар стенки занимает около 1/3 ее толщины (рис.4). Сквозные прожоги стенки при этом не наблюдались. Непровар корня поясного шва, как известно [20], не представляет особой опасности при отсутствии больших местных напряжений, так как швы располагаются параллельно нормальным и касательным напряжениям.

Другим немаловажным вопросом является выполнение требований табл.38\* СНиП II-23-81\* [10] при сваривании стенки с поясами. А особенно остро стоит этот вопрос при соединениях стенки с толстыми опорными ребрами или фланцами, что зачастую выполняется посредством полуавтоматической сварки. Здесь стоит, наверное, отметить, что табл.38\* [10] разработана для традиционных конструкций и возможная минимальная толщина свариваемых элементов составляет 4 мм. Кроме многочисленных испытаний при действии статических [5, 7, 12, 21 и много др.] и динамических нагрузок [13, 14], которые подтвердили надежность таких соединений, в отечественном строительстве и машиностроении накоплен достаточно большой опыт по привариванию листовой стали толщиной и менее 2 мм. Например, приваривание стальных мембран к опорным контурам [15] различных обшивок кузовов вагонов и судов к элементам жесткости [1] и т.п. Также хотелось бы подчеркнуть, что в зарубежной литературе при рассмотрении проблемы сварных соединений тонких гофрированных стенок с поясами вопрос о приваривании тонкой стенки к толстому поясу не стоит так остро. Гораздо в большей степени обсуждается вопрос о том, можно ли считать такой шов равнопрочным и как учитывать частичный непровар стенки [16].

Известно также, что необходимый катет сварного поясного шва из условия прочности

при отсутствии местных нагрузок, как правило, в несколько раз меньше конструктивного в соответствии с табл.38\* [10]. Поэтому использование меньшего катета дорогостоящего сварного шва рационально еще и из экономической точки зрения. Говоря же о конструктивных требованиях в [17] указывается, что при проектировании сварных соединений следует учитывать, что увеличение сечений швов не только не повышает работоспособность конструкций, но в ряде случаев снижает ее.

В заключение укажем, что изготовление в заводских условиях сварных конструкций двутаврового сечения с тонкой гофрированной стенкой в соответствии с п.4.10.1. [18] рекомендуется выполнять по разработанному технологическому процессу, оформленному в виде специальных технологических условий или стандартов для конкретного типа конструкций или по проекту производства сварочных работ (ППСР). Качество и контроль выполнения сварных соединений должны соответствовать требованиям отечественных нормативных документов. Такой документ должен учитывать опыт проектирования, изготовления и надежности при эксплуатации, накопленные при выпуске подобных изделий, что и подтверждено многочисленными исследованиями, а также многолетней практикой использования в строительстве Украины, России, Казахстана, Австрии, Германии, Польши, Словакии, Чехии, Венгрии, Турции и других стран.

## Литература

1. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. – К.: «ИНДПРОМ», 1998. – 640 с.
2. Siokola, W. Wellstegträger. Herstellung und Anwendung von Trägern mit profilierten Steg. Stahlbau 66 (1997) Heft 9, S.595.
3. Corrugated web beam. Technical documentation. – Vienna: Zeman & Co Gesellschaft mbH, 1999. – 14 p.
4. ТУ У В.2.6-28.1-30653953-007:2007. Балки двутавровые гофрированные облегченные. Технические условия.
5. Нилов А.А., Лазнюк М.В. Уточнение расчета тонких поперечно гофрированных стенок изгибаемых элементов двутаврового сечения с различной формой и параметрами гофров // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, 2006. – Вип. 37. – С. 91–100.
6. Лазнюк М.В. Численное моделирование балок с тонкими гофрированными стенками // Будівельні

- конструкції: Зб. наук. пр. – К.; НДІБК, 2003. – Вип. 58. – С. 64–68.
7. Pasternak, H., Hannebauer, D. Tdrgern mit profilierten Stegen, Stahlbau-Kalender 2004, S. 449–492, Ernst&Sohn.
  8. ДБН В.2.6-...:200... «Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу». – К.: Мінрегіонбуд України, 200\*. (проект)
  9. Нилов А.А., Лазнюк М.В., Мартынюк А.Я. К вопросу о нормативном обеспечении проектирования стальных двутавров с гофрированными стенками // Матеріали ІХ Української науково-технічної конференції (9-11 вересня 2008 р.). – К.: ВАГ „УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського, 2008. (находится в печати).
  10. СНиП II-23-81\*. «Стальные конструкции. Нормы проектирования» / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
  11. СНиП РК 5.04-23-2002. «Стальные конструкции». – Астана: Комитет по делам строительства Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан, 2003. – 118 с.
  12. Gutachterliche Stellungnahme zur Querkrafttragfähigkeit von Wellstegträgern; Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Pasternak, Braunschweig / Cottbus 1996.
  13. Report No. 943040: Untersuchung zur Einleitung dynamischer Lasten in Wellstegträger WTB 750 - 300x12, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine (Amtl. Materialprüfanstalt) Universität Karlsruhe, 1995.
  14. Максимов Ю.С., Остриков Г.М. Стальные сварные двутавровые сечения с гофрированными стенками – перспективные и эффективные строительные конструкции. // Экспресс-информ. – Алматы: KAZGOR, 2008. – № 1(55). – С. 24–27.
  15. Еремеев П.Г. Пространственные тонколистовые металлические конструкции покрытий: Научное издание. – М.: АСВ, 2006. – 560 с.
  16. Literature study. Master thesis: Girders with corrugated webs; H.G. de Hoop / Papendrecht, The Netherlands. – November 2003. (<http://www.cpi-glp.com/pdf/Literature%20study.pdf>).
  17. Пособие по расчету и конструированию сварных конструкций (к главе СНиП II-23-81\*) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 40 с.
  18. ГОСТ 23118-99. Конструкции стальные строительные. Межгосударственный стандарт. Общие технические условия.
  19. Ободянский А.В., Золотарев И.А. Справочное пособие по сварке сталей. – Днепропетровск: «Промінь», 1973. – 219 с.
  20. Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с.
  21. Bericht Nr: IK/ 12 / 98: Über die Verfahrensprüfung nach DIN EN 288-3/A1 und Richtlinie DVS 1702, Instytut spawalnictwa Gliwice, 1998.

**Мартынюк Олександр Ярославович** працює директором ТОВ «ПЕМ Україна», Zeman Group. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність обладнання для виробництва будівельних металевих конструкцій, аналіз стійкості автоматичних систем управління.

**Нілов Олексій Олександрович** працює професором кафедри «Металеві і дерев'яні конструкції» Київського національного університету будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження металевих тонкостінних конструкцій балкового і рамного типу, балки з гнучкою і гофрованою стінкою.

**Лазнюк Михайло Васильович** працює провідним науковим співробітником Державного науково-дослідного інституту автоматизованих систем в будівництві, а також головним конструктором ТОВ «ПЕМ Україна» (Zeman Group). Наукові інтереси: сталеві балки з гофрованою стінкою, методика автоматизованого проектування.

**Мартынюк Александр Ярославович** работает директором ООО «ПЕМ Украина», Zeman Group. Научные интересы: эксплуатационная надежность оборудования для производства строительных металлических конструкций, анализ устойчивости автоматических систем управления.

**Нилов Алексей Александрович** является профессором кафедры «Металлические и деревянные конструкции» Киевского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование металлических тонкостенных конструкций балочного и рамного типа, балки с гибкой и гофрированной стенкой.

**Лазнюк Михаил Васильевич** является ведущим научный сотрудником Государственного научно-исследовательского института автоматизированных систем в строительстве, а также главным конструктором ООО «ПЕМ Украина» (Zeman Group). Научные интересы: стальные балки с гофрированной стенкой, методика автоматизированного проектирования.

**Martynyuk Aleksandr Yaroslavovich** – Director of PEM Ukraine Ltd. (Zeman Group). His research interests include serviceability of the equipment for the production of building metal structures, analysis of automated controlling systems stability.

**Nilov Aleksey Aleksandrovich** – a Professor of Metal and Wood Structures Department. His research interests include steel beams and frames with thin and corrugated web.

**Laznyuk Mikhail Vasil'yevich** – a leading researcher of the State Research Institute of Automated Systems in Construction, and a Chief Designer of PEM Ukraine Ltd. (Zeman Group). His research interests include steel beams with corrugated web and methods of automated designing.