

УДК 621.771.63

## Особенности и технология изготовления несущих металлических панелей из гофрированного листа

**В.И. Пунин, М.Е. Докторов**

*Сборные металлоконструкции из оцинкованной стали, изготовленные на основе несущих металлических панелей из гофрированного листа, можно эффективно использовать для создания небольших мобильных хранилищ объемом 30...180 м<sup>3</sup>.*

*В немногих работах по данной тематике освещены лишь частные конструктивные и технологические решения. Поэтому необходим комплексный подход к изготовлению основных элементов таких металлоконструкций — криволинейных панелей из гофрированного листа. В статье представлена технология профилирования стального гофрированного листа на листоформовочном стане и изготовления несущих панелей для обшивки мобильных хранилищ. Приведены ее особенности и описано исследование изменения геометрических размеров листов.*

*Для изготовления гофрированных листов с заданными свойствами потребовалась разработка новой калибровки с возможностью изготовления на одном и том же комплекте валков листов различной толщины от 0,6 до 1,5 мм. По результатам экспериментов выведена новая формула, позволяющая рассчитать форму калибра.*

*На основании исследований выявлены особенности формовки стальных гофрированных листов. Разработана технология изготовления несущих криволинейных панелей для обшивки каркасов металлоконструкций, в частности, зернохранилищ, позволяющая изготавливать продукцию из листов различной толщины на одном комплекте технологического инструмента.*

**Ключевые слова:** гнутые стальные профили, гофрированный лист, гибка, калибровка валков, укорочение.

## Special Characteristics and Technology of Manufacturing Bearing-Load Metal Corrugated Panels

**V.I. Punin, M.E. Doktorov**

*Prefabricated with locking elements galvanized steel constructions, manufactured on the basis of bearing-load metal corrugated panels, can effectively be used to put up a small mobile storehouse of 30–180 m<sup>3</sup>.*

*Few studies on this topic cover only some design and technological methods. Therefore, an integrated approach is needed to manufacturing the basic elements of like these metal constructions, the bent metal corrugated panels.*

*The paper presents the special characteristics and technology of manufacturing corrugated steel profiles by a roll-forming mill; fabrication of the*



**ПУНИН**

**Владимир Иванович**  
(ООО «Ролтяжмаш»)

**PUNIN**

**Vladimir Ivanovich**  
(Moscow, Russian Federation,  
«Rolyazhmash»)



**ДОКТОРОВ**

**Марк Ефимович**  
(DoktorovROLLEORM)

**DOKTOROV**

**Mark Efimovich**  
(San Diego, USA,  
DoktorovROLLEORM)

*bearing-load panels for a mobile storehouse siding; and research of changes in geometric dimensions of profiles.*

*For manufacturing corrugated profiles with desired properties the new grooving method was developed, allowing fabrication of different profile thickness from 0,6 to 1,5 mm and using one and the same set of rolls. As a result, the new formula for calculating a roll shape was derived.*

*Based on research there have been determined the special characteristics of shaping metal corrugated profiles and developed manufacturing technology for bearing-load panels used for siding the metal building constructions, including frameworks, and the grain storage in particular. The technology lets to produce profiles of any thickness using one and the same set of tools.*

**Keywords:** bent rolled steel profiles, corrugated profiles, bending process, roll pass, shortening.

Сборные металлоконструкции из оцинкованной стали, оснащенные системами вентиляции и терморегулирования, можно эффективно использовать для создания небольших мобильных хранилищ зерна, семян, овощей и т. д. объемом 30...180 м<sup>3</sup>. Основу этих конструкций составляет цилиндрический каркас из гнутых профилей различной формы, который обшивается продольно изогнутыми несущими панелями из гофрированного листа толщиной 0,6...1,5 мм. В зависимости от диаметра каркаса металлоконструкции панели имеют различный радиус кривизны в продольном направлении, а конфигурация гофров может быть волнистой или трапециевидной формы. По сравнению с хранилищами-бункерами они обладают высокими потребительскими свойствами, имеют меньшую металлоемкость, высокую мобильность, возможность удобной транспортировки, быстрой сборки и разборки. Однако отсутствие эффективной технологии изготовления сдерживает их применение.

В немногих работах по данной тематике освещены лишь частные конструктивные и технологические решения [1—5], которые требуют комплексного подхода к изготовлению основных элементов таких металлоконструкций — криволинейных панелей из гофрированного листа. Разработка и освоение технологии изго-

товления панелей включает в себя: получение гофрированных листов с трапециевидными гофрами методом холодной формовки в валках на профилегибочном стане; изготовление готовых панелей заданной формы путем продольного изгиба гофрированных листов по требуемому радиусу и выполнение монтажных и технологических отверстий в панелях.

Трапециевидная форма поперечного сечения листов выбрана как наиболее технологичная по условиям окончательной сборки металлоконструкции у потребителя и обеспечивающая наибольшую жесткость [4]. Технология формовки разработана применительно к существующему оборудованию — листоформовочному агрегату 0,5—3×1300 предприятия ООО «Ролтяжмаш» (г. Москва) и профилегибочному стану 1—4×1500 предприятия «Днепрометаллопром» (г. Днепропетровск). В качестве заготовки для панелей была выбрана рулонная оцинкованная сталь по ГОСТ 14918 общего назначения (ОН) и для холодного профилирования (ХП). Формовка осуществлялась в 12 клетях с последующей порезкой гофрированных листов на мерные длины 2 950 мм. Размеры профиля составили: ширина 1 165 мм, высота гофра 15 мм, толщина 0,6 мм, количество гофров 10; внутренние радиусы в местах изгиба — 5 мм, при этом утонение материала в местах изгиба достигало 10%.

Для изготовления гофрированных листов с заданными свойствами потребовалась новая калибровка рабочего инструмента. Особенностью разработанной калибровки валков является возможность изготовления на одном и том же комплекте инструмента гофрированных листов различной толщины от 0,6 до 1,5 мм [6].

В основе технического решения лежит усовершенствование калибров валков в рабочих клетях стана за счет изменения и точного определения взаимного расположения формирующих элементов валков в зависимости от значения заданных зазоров. Это обеспечивает расширение технологических возможностей листоформовочного стана путем профилирования качественного профиля не только заданной формы, освоенной на стане, но и других профилей раз-

личной толщины без переточки или смещения рабочих валков.

Например, на участке калибра валков (рис. 1) образующие конусных поверхностей формующих элементов наклонены к продольной оси валка под углом  $\beta$ , который определяется по формуле:

$$\beta = \alpha + K_y \left\{ \arctg S_{\min} / b + \arctg \left[ (S_{\max} - S_{\min}) / b - 1 - \cos[(\alpha + \arctg) S_{\min} / b] \right] \right\},$$

где  $\alpha$  — угол наклона касательной, соединяющей вершины смежных формующих элементов в калибре верхнего и нижнего валка данной клетки;  $b$  — соответствующее расстояние между смежными вершинами верхнего и нижнего валка в калибре;  $K_y$  — коэффициент устойчивости формы профиля ( $K_y = 1,0 - 1,5$ );  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$  — наибольший и наименьший радиальный зазор в калибре валков и соответствующий применяемой толщине металла, формируемого на данном комплекте инструмента.

На основе данной зависимости обеспечивается возможность в процессе работы выдерживать оптимальный зазор на конусных участках валков при заданном зазоре на цилиндрических участках валков, равном, соответственно, толщине заготовки. Результаты профилирования показали, что при коэффициенте  $K_y < 1$  имеет место смятие поверхности наклонных стенок профиля, повышенное трение и энергозатраты при работе стана, а при  $K_y > 1,5$  ухудшается качество поверхности профиля, появляются царапины, потертости, следы от валков

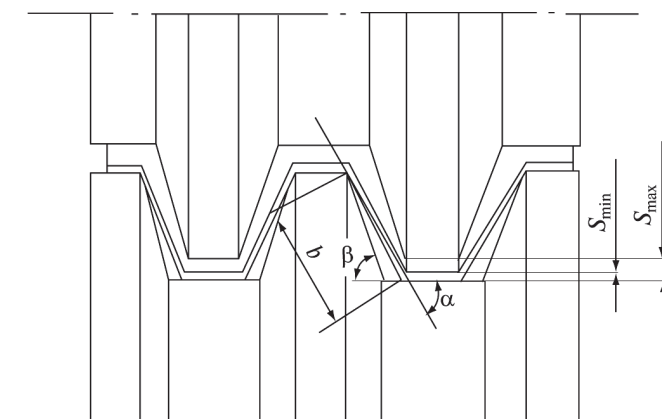


Рис. 1. Схема формовки гофра

и наблюдается значительное утонение металла в местах изгиба профиля.

В отдельных случаях может быть рекомендован способ [7], по которому гофры профиля формируют по технологическим переходам последовательно от середины заготовки к ее периферии с размещением стенок каждого отформованного гофра в плоскостях, соответствующих их положению в последнем технологическом переходе. При этом оси вращения валков смещают в вертикальной плоскости относительно уровня формовки, выдерживая расстояние для формирующих гофров от внутренней зоны их мест изгиба до упомянутой оси вращения одинаковым во всех технологических переходах и равным значению этого расстояния, по меньшей мере для одного гофра профиля, в последней формирующей клетки стана.

В начале процесса гибки производится настройка стана, при которой устанавливается зазор, равный толщине формируемой заготовки (в данном случае — 0,6 мм). В процессе работы заготовка проходит последовательно все рабочие клетки с валковым инструментом с постепенным увеличением углов  $\alpha$  и  $\beta$ . Например, в 12-м переходе угол наклона образующей составил  $\beta = 39,28^\circ$ , при этом  $b = 48$  мм,  $K_y = 1,2$ ,  $S_{\max} = 2$  мм,  $S_{\min} = 0,6$  мм, угол  $\alpha = 38^\circ$ . При необходимости получения гнutoго профиля с трапецевидными гофрами другой толщины, например, 1,5 мм, достаточно в процессе настройки стана изменить зазор между цилиндрическими элементами до 1,5 мм. Таким образом, панели из гофрированных листов различной требуемой толщины [8] могут быть эффективно и качественно произведены на стане с одним комплектом инструмента.

В целях снижения относительного скольжения металла в калибрах валков и, соответственно, повышения качества формируемых изделий, приводными выполняются лишь нижние валки стана. Это позволяет также варьировать диаметры верхних валков без привязки их катающих диаметров к диаметрам нижних валков.

При производстве гофрированных листов часто возникает проблема остаточных напряжений, изменяющих конечные размеры изделия. Для предотвращения такого пружинения



в данном технологическом процессе осуществляется редуцирование (обжатие) отформованного изделия по всей его ширине в последнем переходе. В результате обеспечивается полное соответствие полученных геометрических размеров профиля заданным.

Замечено также, что качество листов повышается при «бесконечной» прокатке из рулона и снижается при поштучной прокатке прямо пропорционально длине листа. В данном случае разработанная технология и применяемый инструмент позволили получать высококачественные листы длиной 9 м (рис. 2). Далее они разрезались на мерные длины (в нашем случае — 2 950 мм) и подвергались поштучной ротационной гибке на гибочных вальцах АМ9-288.

При ротационной гибке гофрированных листов на рабочие валы гибочных вальцев устанавливались дисковые формующие элементы, выполненные в точном соответствии с формующими элементами валков последней клетки профилирующего стана. Предварительная осевая настройка и фиксирование от смещения формующих валковых элементов осуществлялась с помощью специальных регулируемых по ширине вала упоров. На основе разработанной калибровки определялись начальные параметры настройки валков для получения заданного изгиба, а окончательные параметры корректировались с учетом данных, полученных опытным путем. В соответствии с технологией, сначала изгибались концевые участки гофри-



Рис. 2. Сформованный гофрированный лист

рованного листа, а затем его средняя часть. После гибки выполнялась пробивка монтажных и технологических отверстий на изогнутых гофрированных листах.

Необходимо отметить, что кроме данной технологии было также опробовано получение криволинейного листа непосредственно на стане в процессе непрерывного профилирования. Для этого рулон оцинкованного листа устанавливался электро-мостовым краном на разматыватель. Далее передний конец заготовки с помощью тянущих роликов подавался через гильотину к стану. После прохождения заготовки заданной длины производился рез; в этот момент движение листа от разматывателя рулонов контролировалось с помощью датчика петлеобразователя. Листы расчетной длины поштучно подвергались профилированию по разработанной калибровке, а последние две клетки с одинаковыми калибрами, соответствующими форме и размерам готового профиля, смещались относительно оси прокатки в вертикальной плоскости: один ниже, другой выше ее. Таким образом, непосредственно из стана выходили криволинейные в продольном направлении гофрированные листы и пакетировались на выходной стороне листоформовочного агрегата. При этом радиус кривизны листов изменялся в пределах 1 200...1 500 мм.

Также были проведены исследования геометрических размеров листов. Выяснилось, что существует некоторая разница по ширине переднего и заднего концов сформованного листа: для толщины 0,6 мм разница составила порядка 5...6 мм, для толщины 1,5 мм — 3...4 мм, что является следствием поштучной прокатки. Замеры в продольном направлении показали, что в процессе профилирования изменяется длина гофрированных листов по сравнению с первоначальной длиной гладкой заготовки в зависимости от толщины металла, количества продольных гофров и, видимо, материала заготовки. Таким образом, в любом случае происходит небольшое, но заметное укорочение листа. Причем, зафиксировано, что длина листа изменяется неодинаково по краям и по оси, а также наблюдается неоднородное изменение длины на различных продольных участках. Так,

при исходной длине заготовки 2 950 мм толщиной 1 мм после ее поштучного профилирования общая длина уменьшилась по краям на 1,0...1,1 мм (0,037%), по центру — на 1,8 мм (0,061%). С другой стороны, аналогично были замеряны изменения длины не только всей заготовки, но и участков длиной 500 мм (17% общей длины), размеченных в средней части листа. Оказалось, что максимальное укорочение происходило именно здесь и составило, соответственно, по краям 0,5...0,55 мм (0,09%), по центру — 0,7...0,75 мм (0,15%), что составляет 40...50% общего изменения длины листа, т. е. средняя часть листа более интенсивно укорачивается по сравнению с передним и задним концами. Этот фактор укорочения заготовки необходимо учитывать при прочностных и геометрических расчетах, определении длины заготовки и разработке технологических параметров процесса.

При серийном производстве криволинейных панелей металлоконструкций рекомендуется применять специализированную технологическую линию, включающую разматыватель рулонов, ролико-правильную машину, гильотину, перфорационную установку, универсальный профилегибочный стан с унифицированным инструментом, машину ротационной продольной гибки, «летучее» отрезное устройство, инспекционный стеллаж и укладчик пакетов готовой продукции — на основе разработанной технологии изготовления металлических несущих панелей.

## Литература

1. Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. М.: Металлургия, 1980. 288 с.
2. Производство и применение гнутых профилей проката. Справочник / Под ред. И.С. Тришевского. М.: Металлургия, 1975. 536 с.

3. Тришевский И.С., Клепанда В.В., Хижняков Я.В. Холодногнутые гофрированные профили проката. Киев: Техника, 1973, 272 с.

4. Тришевский О.И., Ахлестин А.В., Пунин В.И. Технология изготовления панелей металлических зернохранилищ // Вестник Харьковского национального технического университета. 2005. Вып. 39. С. 3–7.

5. Roll Forming Handbook / Edited by George T. Halmos. Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2006. 573 с.

6. Докторов М.Е., Пунин В.И. Профилегибочный стан конструкции Докторова—Пунина. Патент РФ № 2118215, МПК В21Д 5/06; Опубл. 27.08.98; Бюл. № 24. 4 с.

7. Докторов М.Е., Пшеничная Н.В. Способ изготовления гнутых гофрированных профилей. Патент РФ № 2030943 МПК В21Д 5/06; Опубл. 20.03.1995, Бюл. 18.

8. ТУ 1122—001—4111788—97. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофраами. Технические условия. М.: Госстандарт. Реестр № 200/016306. 9 с.

## References

1. Trishevskii I.S., Doktorov M.E. *Teoreticheskie osnovy protsessy profilirovaniia* [Theoretical basis of the profiling process]. Moscow, Metallurgii publ., 1980. 288 p.

2. *Proizvodstvo i primeneniye gnutykh profilei prokata. Spravochnik* [The production and use of rolled formed sections. Handbook]. Ed. Trishevskii I.S. Moscow, Metallurgii publ., 1975. 536 p.

3. Trishevskii I.S., Klepanda V.V., Khizhniakov Ia.V. *Kholodnognutye gofirovannyye profili prokata* [Cold-rolled corrugated profiles]. Kiev, Tekhnika publ., 1973. 272 p.

4. Trishevskii O.I., Akhlestin A.V., Punin V.I. *Tekhnologiya izgotovleniia panelei metallicheskih zernokhranilishch* [Technology manufacturing panels metal silos]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Technical University]. 2005, issue 39, pp. 3–7.

5. *Roll Forming Handbook*. Edited by George T. Halmos. Boca Raton, London, New York: Tay-lor & Francis Group, 2006. 573 p.

6. Doktorov M.E., Punin V.I. *Profilegibochnyi stan konstruktii Doktorova—Punina* [Roll mill construction Doktorova-Punina]. Patent RF, no. 2118215, МПК V21D 5/06; 1998.

7. Doktorov M.E., Pshenichnaia N.V. *Sposob izgotovleniia gnutykh gofirovannykh profilei* [A method of manufacturing curved corrugated profiles]. Patent RF, no. 2030943 МПК V21D 5/06, 1992.

8. ТУ 1122-001-4111788-97. *Profili stal'nye listovyye gnutyie s trapetsievidnyimi goframi. Tekhnicheskie usloviia* [Steel sheet with trapezoidal corrugations bent. State Standard Specifications]. Moscow, State Standard, register no. 200/016306, 9 p.

Статья поступила в редакцию 26.03.2013

## Информация об авторах

**ПУНИН Владимир Иванович** (Москва) — кандидат технических наук, технический директор ООО «Ролтяжмаш» (107113, Москва, Российская Федерация, пл. Сокольническая, д. 4а, e-mail: vipunin@mail.ru).

**ДОКТОРОВ Марк Ефимович** (San Diego) — кандидат технических наук, директор «DoktorovROLLEORM» (San Diego, CA, USA, e-mail: markdoktorov@gmail.com).

## Information about the authors

**PUNIN Vladimir Ivanovich** (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Technical Director «Roltzyazhmash» (Sokolnicheskaya Square, 4a, 107113, Moscow, Russian Federation, e-mail: vipunin@mail.ru).

**DOKTOROV Mark Efimovich** (San Diego) — Cand. Sc. (Eng.), Chief «DoktorovROLLEORM» (San Diego, CA, USA, e-mail: markdoktorov@gmail.com).