

Пунин В.И.¹, Докторов М.Е.² Гранкин И.С.³

ЭФФЕКТ ПУНИНА-ДОКТОРОВА ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОСЫ НА ПРОФИЛЕГИБОЧНОМ СТАНЕ

¹канд.технических наук, МГТУ им. Баумана,
г.Москва, РФ

² канд.технических наук,
«ДокторовРолформ», г.Сан Диего, США

³ студент
МГТУ им. Баумана, г.Москва, РФ

PUNIN-DOKTOROV,S EFFECT WHEN ROLLING THE STRIP ON THE PROFILE-FORMING MILL

Punin Vladimir, Candidate of Science, Bauman
Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Doktorov Mark, Candidate of Science,
DoktorovRollform, San Diego, USA

Grankin Igor student of Bauman
Moscow State University, Moscow, Russian Federation

АННОТАЦИЯ

При производстве гнутых профилей в многоклетьевых станах возникает парадоксальный эффект укорочения полосы в процессе гибки. В немногих работах по данной тематике это явление не исследовано и не учитывается, освещены лишь частные конструктивные и технологические решения. В статье авторов рассмотрены особенности профилирования стального гнутого профиля и гофрированного листа на профилегибочном стане, проведено исследование изменения геометрических размеров листов.

На основании этого предложены объяснение и методика расчета деформации полосы в стане при прокатке на основе метода Эйлера.

ABSTRACT

By production of bent profiles in the rollforming mills there is a paradoxical effect of shortening of a strip in process are flexible. In the few works on this subject this phenomenon isn't investigated and isn't considered, only private constructive and technological decisions are lit. In article of authors features of profiling of a steel bent profile and a corrugated sheet on a rollforming mill are considered, research of change of the geometrical sizes of sheets is conducted.

On the basis of it the explanation and a method of calculation of strip deformation in a mill when rolling based Eiler,s method, are offered.

Ключевые слова: гнутые стальные профили; гофрированный лист; гибка; укорочение.

Keywords: bend rolled steel profiles; configured profiles; bending process; shortening.

При производстве гнутых профилей в многоклетьевых станах в качестве заготовки обычно используется порезанная по ширине полоса – штрипс в виде узкого рулона - в случае изготовления небольших по сечению изделий или целиком широкий рулон - в случае производства крупных профилированных изделий. В процессе изготовления профилей между формующими клетями необходимо обеспечить ровное и натянутое положение заготовки для получения качественной поверхности готовой продукции и точным геометрическим показателям [1]. Натяжение полосы (профиля) между клетями может создаваться и регулироваться изменением окружных скоростей

валков соседних клеток (например, за счёт увеличения числа оборотов каждого последующего рабочего валка, увеличения катающих формующих диаметров), либо уменьшением зазоров между валками последующих клеток, в результате чего обуславливается возникновение заднего ξ_0 и переднего ξ_1 натяжений (Рис.1).

Логично предположить, что исходя из условия постоянства объема деформируемого материала, а также широко изученного явления утонения

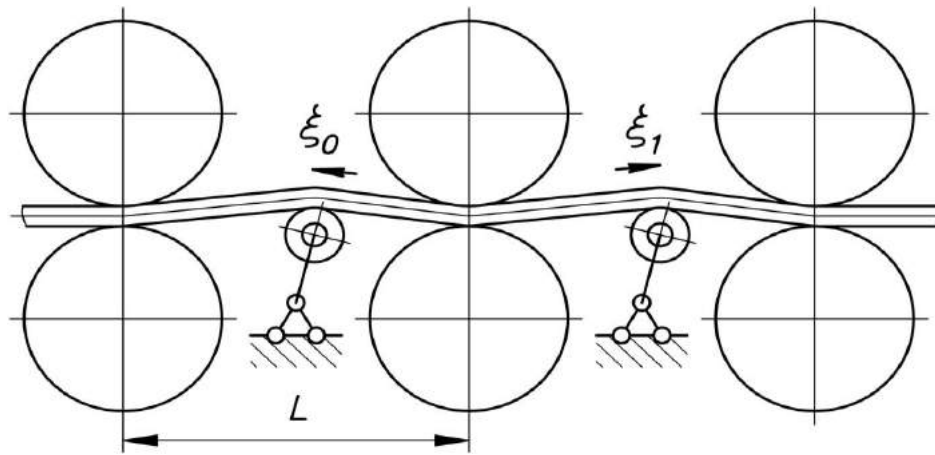


Рисунок 1. Схема профилирования с натяжением

заготовки в местах изгиба при формовке, должно происходить удлинение полосы в конце прокатки. Однако при изготовлении гнутых профилей в многоклетневых станах был обнаружен обратный эффект: заготовка укорачивается!

Это было замечено при штучной прокатке узких профилей, когда длина конечного изделия при тщательном измерении оказывалась меньше длины исходного штрипса и даже могла не уложиться в пределы допуска. При «бесконечной» прокатке из рулонной заготовки этот же эффект оказывался скрытым, т. к. рез профиля задавался мерным. Если же перед профилированием на рулонной заготовке нанести две метки и точно замерять расстояние между ними (не менее 2000 мм), то на готовом профиле это расстояние неизменно уменьшалось.

Многолетний опыт изготовления гнутых профилей как из мерной, так и «бесконечной» заготовки показал на малозаметное, но стабильное

изменение длины первоначально замерянного участка заготовки после профилегибки в сторону уменьшения. Причем, как на относительно узких профилях, так и на профнастиле.

В качестве объяснения данного эффекта, можно предположить, что создание натяжения заготовки в валках соседних клетей, расположенных на расстоянии L между собой, при определенных условиях может привести к тому, что возможное различие между растягивающим и подпирющим действием усилий T_0 и T_1 может обусловить малозаметную потерю устойчивости и «выпучивание» полосы (рис. 2). Соответственно, суммарная волнистость полосы, выходящая за пределы упругости, может увеличиваться с ростом числа клетей и существенно повлиять на её фактическую конечную длину.

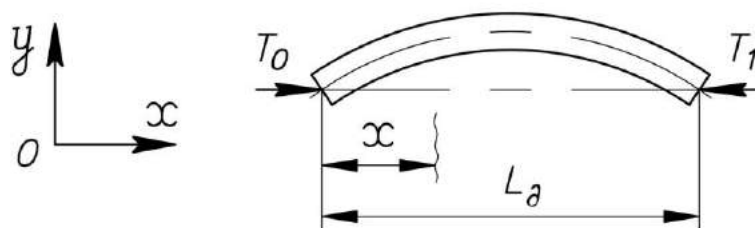


Рисунок 2. Схема потери устойчивости полосы

Величина данной продольной деформации при малых прогибах может быть определена с известными допущениями по методу Л. Эйлера с использованием дифференциального уравнения [2]

$$EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -Ty. \quad (1)$$

Разделив обе части уравнения на EJ и обозначив T/EJ через k^2 , приводим его к виду:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + k^2 y = 0,$$

где E – нормальный модуль упругости материала полосы;

J – момент инерции полосы;

T – усилие натяжения/сжатия,

$$T = (1 - \nu) \sigma b,$$

S, b – толщина и ширина полосы.

С указанными зависимостями устанавливается неизвестный параметр:

$$\frac{RT(1-\xi)^2}{H H} = \dots \quad (2)$$

Решение дифференциального уравнения 2-го порядка (1), устанавливающего величину выпучивания, имеет следующий вид

$$y = a \sin kx$$

В процессе прокатки прогиб полосы под вальцами отсутствует ($y = 0$).

Аналогично для второй клетки

$$y = a \sin kx$$

что определяет $k = \frac{\pi n}{L_0}$.

Подставляя параметр k в выражение (2), получаем действующее натяжение:

$$T = \frac{\pi^2 E J}{L_0^2} n^2$$

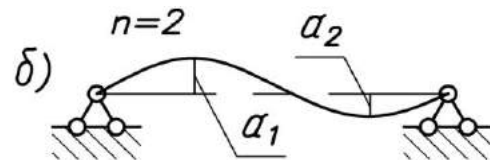
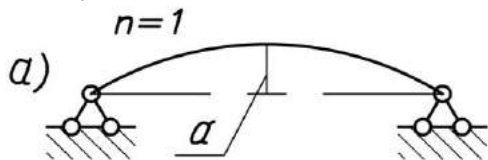


Рисунок 3. Интерпретация метода Эйлера: а) одна волна; б) две волны

При моменте инерции полосы $J = \frac{bS^3}{12}$

устанавливается прогиб:

$$a = \frac{TL^3}{48EJ} \chi = \frac{TL^3}{4EbS^3} \chi = (1-\xi) \frac{\sigma_T}{4E} \left(\frac{L}{S}\right)^3 S \chi \quad (3)$$

где χ - коэффициент, зависящий от материала и геометрии. Для стальных полос $\chi \approx 0,1$.

Например, в случае прокатки в стане с межклетьевым расстоянием $L = 200$ мм полосы толщиной $S = 2,0$ мм ($L/S = 100$) с сопротивлением пластической деформации $\sigma_T = 4С$ МПа, модулем упругости $E = 141 \text{ ГПа}$ и натяжении $\xi = 0,8$, величина выпучивания равна:

$$a = \frac{4 \cdot 200^3}{48 \cdot 141 \cdot 10^9 \cdot 2^3} \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 0,1 = 0,109 \text{ мм}$$

На основании формулы (3) рассчитаем изменение длины полосы при прокатке с натяжением.

где n - число дуг на контуре.

При наименьшем значении $n = 1$, критическое значение натяжения

$$T_{кр} = \frac{\pi^2 E J}{L_0^2}$$

или $(1 - \xi_{кр}) \sigma_T b S \geq \frac{\pi^2 E J}{L_0^2}$, откуда

$$\xi_{кр} \geq 1 - \frac{\pi^2 E J}{L_0^2 \sigma_T b S}$$

Соответственно, прогиб полосы при $n = 1$ и

$x = L/2$ равняется: $y = a \sin \frac{\pi x}{L_0}$.

Далее, в зависимости от характера «выпучивания» (рис.3), максимальный прогиб полосы:

$$y_{\max} = a, \text{ при } n = 1 \text{ и } x = L/2;$$

$$y_{\max} = a1 = a2, \text{ при } n = 2 \text{ и } x = L/4.$$

Для исследуемого случая длина дуги равна:

$$L_0 = \sqrt{L^2 + \frac{16}{3} a^2} = \sqrt{200^2 + \frac{16}{3} 2,857^2} = 200,109 \text{ мм,}$$

откуда уменьшение длины полосы на этом участке

$$\Delta L' = L_0 - L = 200,109 - 200 = 0,109 \text{ мм.}$$

Для 10-ти клетьевого профилигибочного стана ($m = 10$) максимальное уменьшение длины полосы по 9-ти межклетьевым расстояниям составит:

$$\Delta L = 9 \cdot 0,109 = 0,981 \text{ мм.}$$

В процессе промышленного производства гнутого профиля, предназначенного для изготовления противопожарных дверей (рис.4), было зафиксировано укорочение заготовки в рабочих клетях стана, которое возрастало с увеличением числа клетей. На «бесконечной» полосе до её задачи в стан наносились риски на определённой длине, расстояние между ними фиксировалось и сравнивалось со значением, замеренным после профилирования полосы.



Рисунок 4. Прокатка дверного профиля из «бесконечной» полосы

Аналогичные расчеты при других параметрах натяжения полосы представлены ниже:

ξ_0	0,8	0,6	0,5
a , мм	2,857	5,714	7,143
ΔL , мм	0,981	3,915	6,111

Также были проведены исследования геометрических размеров профилируемых широких листов (рис.5).

Замечено, что качество гофрированных листов повышается при «бесконечной» прокатке из рулона и снижается при поштучной прокатке и прямо пропорционально длине листа. В данном случае на профилегибочном стане требовалось получать по разработанной технологии и применяемом универсальном инструменте [3] высококачественные листы как из штучных заготовок, так и из рулонов, которые после профилирования разрезались на мерные длины.



Рисунок 5. Сформованный гофрированный лист.

Для получения профнастила рулон оцинкованного листа устанавливался 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. При поштучной же прокатке листы расчётной длины (в данном случае – 2950 мм) подвергались профилированию по разработанной калибровке. Далее гофрированные листы паковались на выходной стороне листоформовочного агрегата.

В ходе исследований [4] выяснилось, что имеется 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 разница составила 3-4 мм, что является следствием поштучной прокатки. Замеры в продольном направлении также 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. А именно, в любом случае происходит небольшое, но заметное укорочение листа. Причём, зафиксировано, что длина листа изменяется неодинаково по краям и по оси, а также имеется неоднородное изменение длины на различных продольных участках. Так, при исходной длине заготовки 2950 мм толщиной 1 мм после её поштучного профилирования общая длина уменьшилась по краям на 1,0-1,1 мм (0,037 %) и 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% от общего изменения длины листа. Т.е. средняя часть листа более интенсивно укорачивается по сравнению с передним и задним концами.

На основании изложенной выше методики также рассчитывается изменение геометрии данного гнутого профиля по длине.

УДК 368.3.068

Шуваев П.В.¹, Трусов В.А.²

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ

¹магистр, «Конструирование и производство радиоаппаратуры» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

²к.т.н., доцент ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

PROGRAM PROCESSING AND VISUALIZATION OF EXPERIMENTAL RESEARCH DATA

Shuvaev Pavel magistr, Penza State University, Penza, Russian Federation

Trusov Vasilij Candidate of Science, assistant professor of Penza State University, Penza, Russian Federation

Естественно, дополнительно происходящие деформационные процессы при формообразовании полосы в клетях сопровождаются увеличением ее ширины, что будет рассмотрено в последующих работах.

Таким образом, этот фактор укорочения заготовки безусловно необходимо учитывать при прочностных и геометрических расчётах, определении длины заготовки и разработке технологических параметров процесса.

Выводы:

1. Происходящие деформационные процессы при формообразовании полосы в клетях профилегибочного стана сопровождаются уменьшением ее длины в зависимости от натяжения, числа клетей и отношения межклетьевого расстояния к толщине заготовки.

2. Для повышения устойчивости процесса и точности размеров профилей при прокатке технологически необходимо выдерживать отношение L к S не более 100, диаметры приводных верхних и нижних валков не должны сильно различаться, а количество клетей необходимо уменьшить с учетом требуемого качества продукции.

Список литературы

1. Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. - М.: "Металлургия", 1980. 288 с.

2. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 592 с.

3. Докторов М.Е., Пунин В.И. Профилегибочный стан конструкции Докторов-Пунина. Патент РФ № 2118215, МПК В21Д 5/06. Бюл. № 24, опубл. 27.08.98 – 4 с.

4. Особенности и технология изготовления несущих металлических панелей из гофрированного листа /Пунин В.И., Докторов М.Е. /Известия вузов. Машиностроение №4, 2013. С.79-83.