

ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПОЛОС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗУБЧАТЫХ ВАЛКОВ

А.П. Пелленен, *pellenen@susu.ru*

А.А. Штер

В.Г. Дремин

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В производстве и транспортировке электрокабельной продукции, труб в бухтах из черных и цветных металлов, медных шин используются тарные металлические барабаны, которые имеют большой диапазон размеров и позволяют размещать продукцию весом до нескольких тонн. В отличие от деревянных тарных барабанов, которые, как правило, имеют однократное применение, металлические тарные барабаны, обладающие большой конструктивной жесткостью, используются многократно. Жесткость барабанов обеспечивается использованием металлических гофрированных щек, выполненных в виде колец. Гофрированные кольцевые щеки в настоящее время изготавливаются холодной штамповкой на прессах. Целью настоящей работы явилась разработка альтернативной технологии получения кольцевых гофрированных полос с использованием конических зубчатых валков. В практике прокатного производства при изготовлении специальных видов проката, например, тонких дисков, используют конические валки. Применение конических валков позволяет в результате неравномерной деформации по ширине полосы получать изделие требуемой кривизны. Вместе с тем из анализа методов и оборудования получения гофрированных полос и лент с продольными и поперечными гофрами все большее применение получают технологии гофрирования с использованием зубчатых валков. Исходя из этого, для получения кольцевых гофрированных полос целесообразно использовать сочетание этих двух технологий и осуществлять процесс гофрирования в конических зубчатых валках. В работе предложена методика расчета геометрических параметров формовочного инструмента, изготовлена опытная установка для получения гофрированных колец и проверки разработанной методики. Конические зубчатые валки были изготовлены в технопарке института Опытного машиностроения ЮУрГУ (НИУ) на 5-координатном обрабатывающем центре с ЧПУ типа MNV-4000 фирмы MoriSeiko (Япония). Выполненные на установке работы по моделированию процесса получения кольцевых гофрированных колец подтвердили возможность использования разработанной методики расчета геометрических параметров валков, позволили выяснить особенности изготовления кольцевых гофрированных полос и разработать проект опытно-промышленного стана, предназначенного для производства щек для тарных барабанов.

Ключевые слова: металлические тарные барабаны, кольцевые гофрированные щеки, зубчатые валки, расчет валков, опытная установка, экспериментальное исследование, опытно-промышленный стан

Для цитирования: Пелленен А.П., Штер А.А., Дремин В.Г. Получение кольцевых гофрированных полос с использованием зубчатых валков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2022. Т. 22, № 3. С. 57–65. DOI: 10.14529/met220305

Original article
DOI: 10.14529/met220305

PRODUCING CORRUGATED RING DRUM WALLS BY MEANS OF TOOTHED ROLLERS

A.P. Pellenen, *pellenen@susu.ru*

A.A. Shter

V.G. Dremin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Metal packaging drums are used in the production and transportation of electric cable products, coiled pipes of ferrous and non-ferrous metals, and copper strips. These drums are available in a large range of sizes, enabling the packaging of products weighing up to several tons. Unlike wooden packaging drums, which are normally single use, metal packaging drums with high structural rigidity can be used repeatedly. The rigidity of the drums is ensured by the use of corrugated metal walls made in the form of rings. At the present time the corrugated ring drum walls are cold stamped on presses. The purpose of this work was to develop an alternative technology for the production of corrugated ring strips using conical toothed rollers. In metal rolling production, conical rollers are used in the manufacture of special types of rolled products, such as for example, thin discs. Due to uneven deformation along the width of the strip, the use of conical rollers enables an article of the required curvature to be obtained. Concurrently with this, by analyzing the methods and equipment used to obtain corrugated strips and belts with longitudinal and transverse corrugations, corrugation technologies using geared rollers are being increasingly used. Based on this development, it appears viable to use a combination of these two technologies and perform the corrugation process by means of conical geared rollers, in order to obtain corrugated ring strips. This paper proposes a method for calculating the geometric parameters of the forming tool, and an experimental tool was developed to produce corrugated rings and to check the developed method. The toothed rollers were manufactured in the technology park of the Institute of Experimental Mechanical Engineering of SUSU NRU at the 5-coordinate digital control centre type MNV-4000 by MoriSeiko (Japan). The work carried out on the equipment to simulate the process of obtaining corrugated rings confirmed the possibility of using the methodology developed to calculate the geometric parameters of the rollers. It also enabled researchers to define the specific features of the manufacture of corrugated rings and facilitated the development and design of an experimental industrial work bench for the production of packaging drum walls.

Keywords: metal packaging drums, corrugated annular walls, geared rolls, roll calculation, experimental tool, experimental study, experimental industrial workbench

For citation: Pellenen A.P., Shter A.A., Dremin V.G. Producing corrugated ring drum walls by means of toothed rollers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy.* 2022;22(3):57–65. (In Russ.) DOI: 10.14529/met220305

В технологии производства и транспортировки электрокабельной продукции, длинномерных труб в бухтах, медных шин большое применение имеют металлические барабаны. Конструкции металлических барабанов достаточно разнообразны и изготавливаются в основном по техническим условиям предприятий [1, 2].

На рис. 1 представлен общий вид металлического барабана.

Геометрические размеры барабанов изменяются в достаточно широком диапазоне. Наружный диаметр щек изменяется от 800 до 3600 мм, а ширина барабана – от 350 до 2150 мм. Конструктивно барабан (например, № 18 с наружным диаметром щек 1800 мм) [1] со-

стоит из щеки 1, имеющей трапециевидные поперечные гофры, обеспечивающие требуемую конструктивную прочность. Щека выполнена из низкоуглеродистой мягкой полосы размерами 1,5 × 450 мм по ГОСТ 9045–93 [3]. По наружному диаметру щеки 1 приварена обечайка 2 из горячекатаной полосы 8 × 50 мм по ГОСТ 16523–97 [4]. Шейка 3 представляет собой сварной полый цилиндр, из полосы размерами 2 × 1170 мм по ГОСТ 17066–94 [5]. С торцов шейки 3 установлена крестообразная связь 4 из гнутого швеллера по ГОСТ 8240–97 [6].

В центре крестообразной связи вварена втулка 5 для выполнения технологических операций наматывания и разматывания продукции.

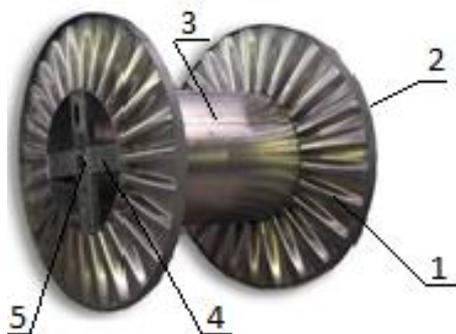


Рис. 1. Стальной тарный барабан
Fig. 1. Steel container drum

В настоящее время гофрированные щеки изготавливают штамповкой из листовой низкоуглеродистой стали.

Целью настоящей работы являлась разработка альтернативной технологии получения кольцевых гофрированных щек для металлических тарных барабанов.

В практике прокатного производства при изготовлении специальных видов проката, например, тонких дисков, используют конические валки [7–9]. Применение конических валков позволяет в результате неравномерной деформации по ширине полосы получать изделие требуемой кривизны. Вместе с тем из анализа методов и оборудования получения гофрированных полос и лент с продольными и поперечными гофрами все большее применение получают технологии гофрирования с использованием зубчатых валков [7–14].

Исходя из этого, для получения кольцевых гофрированных полос целесообразно использовать сочетание этих двух технологий и осуществлять процесс гофрирования в конических зубчатых валках.

На рис. 2 приведена схема гофрирования полосы в зубчатых валках, а на рис. 3, 4 – схемы к определению параметров инструмента.

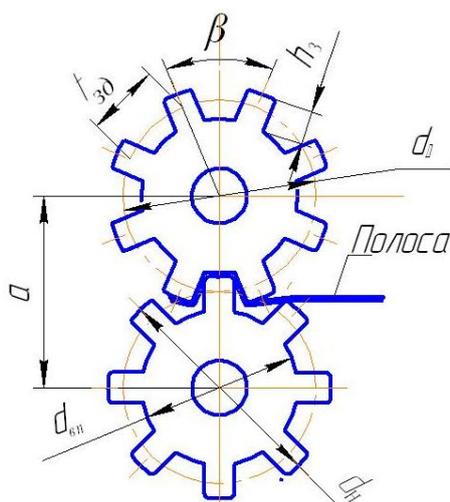


Рис. 2. Схема гофрирования полосы
Fig. 2. Strip corrugation scheme

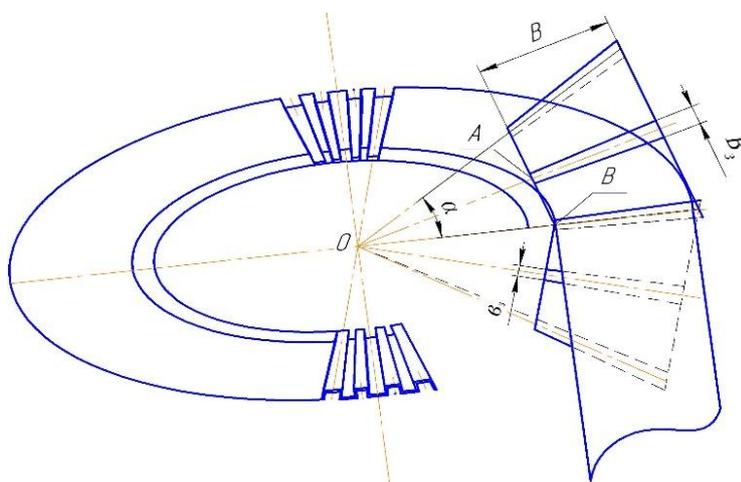


Рис. 3. К определению параметров зубчатых валков
Fig. 3. To determine the parameters of toothed rolls

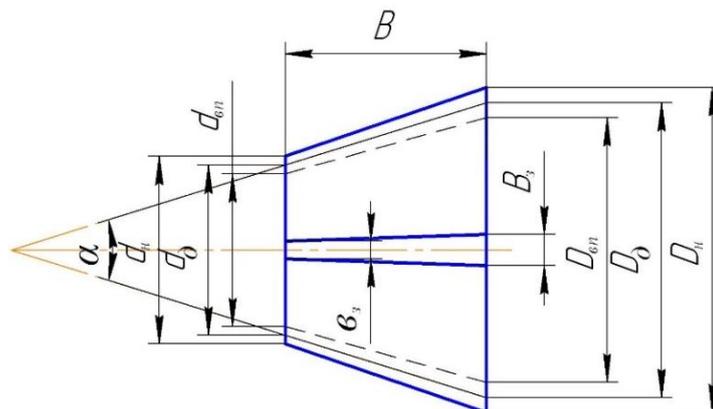


Рис. 4. Схема зубчатого конического вала
Fig. 4. Scheme of a toothed conical roll

В соответствии с необходимостью получения гофров с переменным профилем по ширине полосы профиль зубьев должен иметь также переменный профиль.

При определении геометрических параметров инструмента используется прямозубое зацепление. При расчете параметров зубчатого вала, исходя из конструктивных параметров гофров щеки [1], определяют высоту (h_3) и ширину (b_3) зубьев вала со стороны шейки:

$$h_3 = h_r - 2H_n; \quad b_3 = b_r - 2H_n, \quad (1)$$

где h_r, b_r – высота и ширина полки гофра;

H_n – толщина полосы.

Основным геометрическим параметром зубчатого вала можно считать угол конической поверхности α , проходящий через делительный диаметр вала d_d со стороны внутреннего диаметра щеки (или наружного диаметра шейки $d_{ш}$). Угол α определяется из прямоугольного треугольника OAB (см. рис. 3):

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{d_d}{d_{ш}}. \quad (2)$$

Минимальная длина вала равна

$$L_v = 0,5 \left(D_{ш} - \frac{d_d}{\operatorname{tg}(0,5\alpha)} \right). \quad (3)$$

Длина концентрической окружности вала C_d со стороны шейки равна

$$C_d = \pi d_d. \quad (4)$$

Количество зубьев конического зубчатого вала

$$n_3 = \frac{C_d}{t_{зд}}, \quad (5)$$

где $t_{зд}$ – шаг между зубьями по делительному диаметру вала.

Шаг между зубьями $t_{зд}$ с учетом пружинения полосы и ее загиба на 90° [15] определяется по выражению

$$t_{зд} = \pi \frac{d_{ш}}{z} - 18,84 h_r \frac{\sigma_{sn}}{E_n} \left(\frac{R}{H_n} + 0,5 \right), \quad (6)$$

где h_r – высота гофра;

σ_{sn} – предел текучести материала полосы;

E_n – модуль упругости материала полосы;

R – радиус загиба полосы на зубе вала;

H_n – толщина полосы;

z – число гофров щеки.

Угол β (см. рис. 1) между соседними зубьями равен $\beta = 2\pi/n_3$.

Шаг между зубьями на большем делительном диаметре зубчатого вала D_d равен

$$T_{зд} = \frac{\pi D_d}{n_3}. \quad (7)$$

При этом

$$D_d = D_{ш} \operatorname{tg}(0,5\alpha), \quad (8)$$

где $D_{ш}$ – наружный диаметр щеки.

Ширина зуба b_3 на меньшем делительном диаметре зубчатого вала d_d определяется шириной полки гофра b_r и толщиной полосы:

$$b_3 = b_r - 2H_n. \quad (9)$$

Высоту зуба и его ширину на большем диаметре зубчатого вала (со стороны обечайки) необходимо определять из условия равенства длин полосы на шаге гофра со стороны шейки l_n и обечайки L_n . При гофрировании полосы ее длина на шаге гофра равна

$$l_n = 2(h_3 + b_3 + H_n). \quad (10)$$

При этом h_3 и b_3 , как отмечалось выше, определяются, исходя из конструктивных параметров щеки.

Наружный диаметр вала со стороны внутреннего диаметра щеки d_n равен

$$d_n = d_d + h_3, \quad (11)$$

а диаметр впадин $d_{вп}$ зубчатого вала

$$d_{вп} = d_d - h_3. \quad (12)$$

Аналогично, длина полосы на шаге гофров со стороны обечайки

$$L_n = 2(H_3 + B_3 + H_n), \quad (13)$$

где B_3 – ширина зуба валка:

$$B_3 = \frac{\pi D_d}{2n_3} - 2H_{\text{п}}. \quad (14)$$

Высота зуба, учитывая выражения (10)–(14), равна

$$H_3 = 0,5(l_{\text{п}} - \frac{\pi D_d}{2n_3}) + H_{\text{п}}. \quad (15)$$

Таким образом, записаны основные выражения для расчета геометрических параметров формовочного инструмента (см. рис. 4).

Требуемый для вращения валков крутящий момент целесообразно определить из равенства работы деформирования $A_{\text{деф}}$ и работы внешних сил $A_{\text{внеш}}$ при использовании упрощенного метода баланса работ, т. е.

$$A_{\text{деф}} = A_{\text{внеш}}.$$

Принимая во внимание рекомендации работ [16, 17], крутящий момент для вращения зубчатых валков без учета потерь на трение в подшипниковых опорах и возможного скольжения полосы по зубьям валков при гофрировании полосы, получено выражение

$$M_{\text{кр}} = \frac{1}{12}(d_{\text{н}} + D_{\text{н}}) \times [1,5 + 0,5H_{\text{п}} \frac{\sigma_{\text{вп}}(1 + \delta_{\text{вп}}) - \sigma_{\text{сп}}}{\delta_{\text{вп}}\sigma_{\text{сп}}R}] B_{\text{п}} H_{\text{п}} \sigma_{\text{сп}}, \quad (16)$$

где $\sigma_{\text{вп}}$, $\delta_{\text{вп}}$ – предел прочности и относительное удлинение материала полосы соответственно.

Для оценки правильности расчета геометрических параметров инструмента по разработанной методике была изготовлена опытная установка, позволяющая моделировать гофрирование полос с соотношением 1 : 5. Схема установки приведена на рис. 5. На опытной установке предполагалось получить гофрированные щеки с внутренним диаметром 180 мм,

высотой и шириной полки гофра на внутреннем диаметре щеки соответственно 17 и 11 мм. Такие параметры опытной гофрированной щеки с учетом масштабного коэффициента соответствуют промышленному металлическому барабану № 18, имеющему внутренний диаметр щеки 900 мм, наружный диаметр 1800 мм и высоту гофра со стороны шейки 85 мм [1].

Геометрические параметры зубчатых валков, определенные по вышеизложенной методике, для выбранного из конструктивных соотношений делительного диаметра зубчатого валка со стороны шейки $d_{\text{д}} = 55$ мм имеют следующие значения: $\alpha = 35,6^\circ$, $L_{\text{в}} = 94,3$ мм, $D_{\text{д}} = 115,6$ мм, $n_3 = 8$, $\beta = 45^\circ$, $t_{\text{зд}} = 22,6$ мм, $T_{\text{зд}} = 45,35$ мм, $D_{\text{д}} = 115,6$ мм, $b_3 = 10,7$ мм, $d_{\text{н}} = 71,7$ мм, $d_{\text{вп}} = 38,3$ мм, $B_3 = 22,08$ мм, $H_3 = 3,2$ мм. Зубчатые валки были изготовлены из стали 45 в технопарке Института опытного машиностроения ЮУрГУ(НИУ) на 5-координатном обрабатывающем центре с ЧПУ типа MNV-4000 фирмы MoriSeiko (Япония).

Процесс гофрирования лент на опытной установке осуществлялся следующим образом.

Оси зубчатых валков устанавливались под углом 36° . Предварительно подготавливалась отожженная лента из низкоуглеродистой стали 08КП со следующими размерами: толщина 0,3 мм, ширина 55–90 мм и длина не менее 1400 мм. Минимальная длина ленты определялась, исходя из шага между гофрами (22,6 мм) и их количеством (25), т. е.

$$l_{\text{п}} = 2(17 + 10,7 + 0,3)25 = 1400 \text{ мм}.$$

Лента устанавливалась в проводках приемного стола и при вращении зубчатых вал-

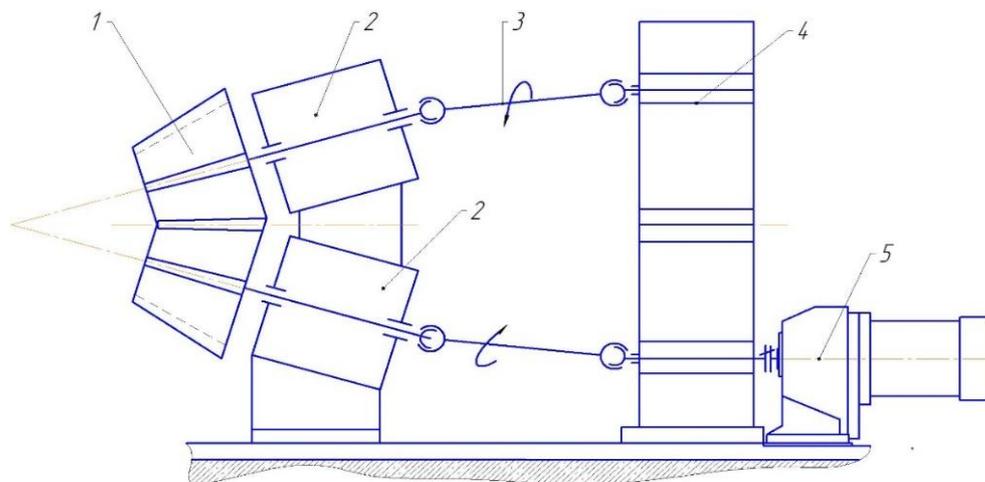


Рис. 5. Схема установки для получения кольцевых гофрированных полос: 1 – зубчатые валки; 2 – подшипниковые опоры; 3 – карданные валы; 4 – раздаточный редуктор; 5 – мотор-редуктор
Fig. 5. Scheme of installation for obtaining annular corrugated strips: 1 – toothed rolls; 2 – bearing supports; 3 – cardan shafts; 4 – transfer gearbox; 5 – gear motor

ков осуществлялось гофрирование ленты. При этом, чтобы лента удерживалась в проводках приемного стола, она прижималась к столу прижимом (на схеме рис. 5 не показано). После деформирования ленты производился замер параметров гофрирования, а именно: высота гофров, шаг между гофрами и внутренний диаметр щеки.

В результате выполнения опытного гофрирования ленты установлено следующее.

1. Высота гофров, шаг между гофрами соответствовали расчетным параметрам.

2. Требуемый внутренний диаметр гофрированного кольца 180 мм, обеспечивался в том случае, когда продольная ось ленты перпендикулярна конусной концентрической поверхности, проходящей через делительный диаметр зубчатых валков. При этом наружный диаметр гофрированного кольца зависит только от ширины ленты (рис. 6).

3. В результате экспериментального исследования по получению кольцевых гофри-

рованных полос на разработанной опытной установке подтверждена правильность методики по определению геометрических параметров формовочного инструмента и получены данные по условиям расположения полосы относительно зубчатых валков.

По результатам выполненных исследований разработан проект опытно-промышленного стана для отработки технологии получения кольцевых гофрированных щек и изготовления тарных металлических барабанов № 18 [1] для одного из заводов электрокабельной промышленности для поставки электрических кабелей общепромышленного назначения в северные районы России.

Опытно-промышленный стан должен обеспечивать на первом этапе изготовление не менее 600 шт. кольцевых гофрированных щек для выпуска 300 шт. барабанов в месяц (количество щек в готовом барабане – 2).

На рис. 7 приведена схема расположения основного оборудования стана в плане. Осо-



Рис. 6. Кольцевая гофрированная полоса с внутренним диаметром 180 мм
Fig. 6. Annular corrugated strip with an inner diameter of 180 mm

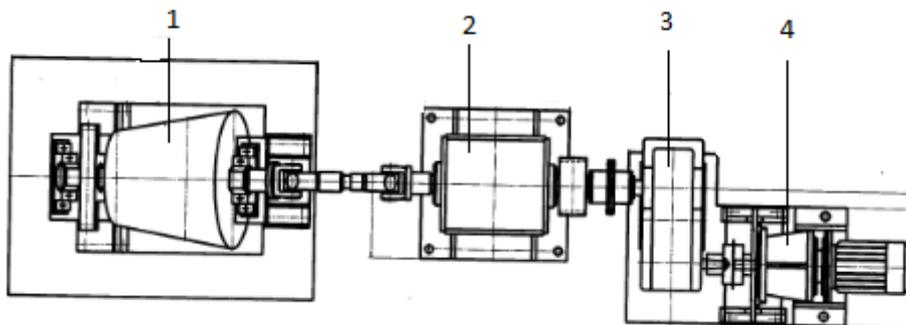


Рис. 7. Схема расположения основного оборудования опытно-промышленного стана для получения кольцевых гофрированных полос: 1 – рабочая клеть; 2 – шестеренная клеть; 3 – редуктор; 4 – мотор-редуктор

Fig. 7. Layout of the main equipment of the pilot mill for the production of annular corrugated strips: 1 – working cell; 2 – gear cage; 3 – reducer; 4 – motor-reducer

бенностью стана является то, что продольная ось полосы перпендикулярна концентрической поверхности, проходящей через делительный диаметр зубчатых валков, а выходящая из валков полоса движется по винтовой роликовой проводке, обеспечивающей ее постепенное поднятие в процессе гофрирования и перемещение переднего конца полосы над верхним зубчатым валком. После выполнения операции гофрирования полосы она снимается с рабочей клетки стана.

Технические характеристики стана следующие:

- 1) максимальный диаметр зубчатого вала – 682 мм;
- 2) длина бочки вала – 570 мм;
- 3) скорость вращения валков – до 4 об/мин;
- 4) крутящий момент на одном валке – 2,21 кН м;
- 5) общее передаточное число привода валков – 360;

6) установленная мощность мотор-редуктора – 7,5 кВт;

7) скорость двигателя мотор-редуктора – 1420 об/мин;

8) расчетная длина полосы – 7150 мм.

Заключение

1. Предложена альтернативная процессу штамповки технология получения кольцевых гофрированных щек для тарных металлических барабанов с использованием зубчатых конических валков.

2. Предложена методика расчета геометрических параметров зубчатых валков.

3. По разработанной методике изготовлены зубчатые валки для опытной установки и исследованы особенности гофрирования полосы в зубчатых валках.

4. Разработан проект опытно-промышленного стана для получения гофрированных щек для тарного металлического барабана с наружным диаметром щеки 180 мм.

Список литературы

1. Каталог. Тарные кабельные барабаны // Транслайн: сайт. URL: <https://www.reels.ru/catalog/tarnye-kabelnye-barabany-tip-balbmp>.
2. Кабельные барабаны // ИПГ Смол: сайт. URL: <http://www.smol-kabel.ru/index.php?module=catalog&show=fulldesc&id=161&item=419>.
3. ГОСТ 9045–93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой стали для холодной штамповки. Взамен ГОСТ 9045–80; введ. 1997-01-01. Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 1997. 20 с.
4. ГОСТ 16523–97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Взамен ГОСТ 16523–89; введ. 2000-01-01. Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ, 2008. 16 с.
5. ГОСТ 17066–94. Прокат тонколистовой из стали повышенной прочности. Взамен ГОСТ 17066–80; введ. 1996-01-07. М.: Стандартиформ, 2009. 33 с.
6. ГОСТ 8240–97. Швеллеры стальные гнутые равнополочные. Сортамент. Взамен ГОСТ 8278–75; введ. 1984-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1998. 17 с.
7. Капланов В.И., Капанова Е.В. Современная теория распределения давления в очаге деформации при прокатке тонких дисков // Вестник Приазовского государственного университета. Серия: Технические науки. 2000. № 10. С. 116–120.
8. Капланов В.И. Теоретическое исследование кинематических параметров при круговой прокатке тонких дисков // Вестник Приазовского государственного университета. Серия: Технические науки. 2002. № 12. С. 1–4.
9. Капланов В.И., Правдивец К.Н. Кинематика процесса круговой прокатки // Вестник Приазовского государственного университета. Серия: Технические науки. 2001. № 11. С. 1–6.
10. А.с. 133452 СССР, МКИ В21d 13/04. Устройство для гофрирования ленты / П.А. Шурыгин. Заявл. 04.06.59; опубл. 25.06.60, Бюл. № 22.
11. Пат. 3712101 США. МКИ В21d 13/04, НКИ 72-196. Заявл. 10.08.71; опубл. 23.01.73.
12. Пат. 4130673 ФРГ. МКИ В21d 43/08, В21d 13/04, В21d 28/26. Заявл. 14.09.91; опубл. 18.03.93.
13. Пат. 2080948 Российская Федерация, МКИ В21d 13/04. Устройство для изготовления гофрированной ленты / А.М. Титов, Д.А. Титов. Заявл. 20.07.95; опубл. 10.06.97, Бюл. № 16.

14. Вишенков М.А. Разработка технологии и установка для гофрирования ленты с надрезом в валках: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.03.05). М.: Моск. гос. технол. ун-т «Станкин», 2002. 25 с.
15. Тришевский И.С., Марьин В.С., Хмель В.А. Производство деталей из гнутых профилей: Киев: Техника, 1985. 127 с.
16. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1971. 424 с.
17. Мошнин Е.М. Гибка и правка на ротационных машинах. М.: Машиностроение, 1967. 272 с.

References

1. [Catalog. Container cable reels]. *Transline: site*. (In Russ.) Available at: <https://www.rails.ru/catalog/container-cable-drums-type-bulbmp>.
2. [Cable drums]. *Smol: site*. (In Russ.) Available at: <http://www.smol-kabel.ru/index.php?module=catalogue&show=fulldesc&id=161&item=419>.
3. *GOST 9045–93*. [Rolled thin-sheet cold-rolled low-carbon steel for cold stamping]. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow: Standards Publishing House; 1997. 20 p. (In Russ.)
4. *GOST 16523–97*. [Rolled thin-sheet carbon steel of high quality and ordinary quality for general purposes]. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow: Standartinform; 2008. 16 p. (In Russ.)
5. *GOST 17066–94*. [Rolled sheet steel of increased strength]. Moscow: Standartinform; 2009. 33 p. (In Russ.)
6. *GOST 8240–97*. [Steel bent equal-shelf channels. Assortment]. Moscow: Publishing House of Standards; 1998. 17 p. (In Russ.)
7. Kaplanov V.I., Kaplanova E.V. [Modern theory of pressure distribution in the deformation zone during rolling of thin disks]. *Bulletin of the Priazov State University. Series: Engineering sciences*. 2000;(10):116–120. (In Russ.)
8. Kaplanov V.I. [Theoretical study of kinematic parameters in circular rolling of thin disks]. *Bulletin of the Priazov State University. Series: Engineering sciences*. 2002;(12):1–4. (In Russ.)
9. Kaplanov V.I., Pravdivets K.N. [Kinematics of the circular rolling process]. *Bulletin of the Priazov State University. Series: Engineering sciences*. 2001;(11):1–6. (In Russ.)
10. Shurygin P.A. [Device for corrugating tape]. Patent USSR, no. 133452, 1960. (In Russ.)
11. Patent 3712101 USA. MKI B21d 13/04, NKI 72-196; decl. 10.08.71; publ. 23.01.73.
12. Patent 4130673 Germany. MKI B21d 43/08, B21d 13/04, B21d 28/26; decl. 14.09.91; publ. 18.03.93.
13. Titov A.M., Titov D.A. [Device for the manufacture of corrugated tape]. Patent Russia, no. 2080948, 1997. (In Russ.)
14. Vishenkov M.A. [Development of technology and installation for corrugating tape with a notch in rolls. Abstract of cand. sci. diss.]. Moscow; 2002. 25 p. (In Russ.)
15. Trishevskiy I.S., Mar'in B.C., Khmel' V.A. [Production of parts from bent profiles]. Kiyev: Tekhnika; 1985. 127 p. (In Russ.)
16. Storozhev M.V., Popov E.A. [Theory of metal forming]. Moscow: Mashinostroyeniye; 1971. 424 p. (In Russ.)
17. Moshnin E.M. [Bending and straightening on rotary machines]. Moscow: Mashinostroyeniye; 1967. 272 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Пелленен Анатолий Петрович, канд. техн. наук, доц. кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; pellenen@susu.ru.

Штер Арон Абрамович, старший научный сотрудник кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Дремин Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Anatoly P. Pellenen, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; pellenen@susu.ru.

Aron A. Shter, Senior Researcher of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Vladimir G. Dremine, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022

The article was submitted 20.04.2022