

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет Материаловедения и металлургических технологий
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН
Рецензент

А.Б. Басов
_____ В.Г.Шеркунов

“ _____ ” _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

“ _____ ” _____ 2017 г.

Тема работы: «Разработка опытно-промышленного стана для изготовления кольцевых гофрированных полос»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15..04.02-2017-00.00.00 ПЗ**

Руководитель работы:
А.П. Пелленен _____ / /

Автор работы
Р.М. Абдуллин _____ /

студент группы П-245

АННОТАЦИЯ

Р.М.Абдуллин. Разработка опытно-промышленного стана для изготовления кольцевых гофрированных стальных полос: Выпускная квалификационная работа. – Челябинск: ЮУрГУ, МиМТ, П-245, 2017. – 62 с., 28 ил., 7 табл., библиогр. список – 30 наим.

В представленной пояснительной записке приведена область применения гофрированного листового металла. Даны характеристики технологических процессов гофрирования листового металла, технические характеристики тарных кабельных барабанов.

В расчетной части работы произведены расчеты на прочность деталей и узлов опытно-промышленного стана. Разработана методика расчета формовочного инструмента, а также энергосиловых параметров процесса гофрирования. Дано описание технологии изготовления кольцевых гофрированных полос.

В графической части даны чертежи конструкции тарных барабанов, опытной установки для получения кольцевых гофрированных полос, опытно-промышленного стана, узла валков.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ

1. Области применения гофрированного листового металла.....8
2. Характеристика технологических процессов гофрирования листового металла.....13
3. Технические характеристики тарных кабельных барабанов.....26
4. Разработка методики расчета геометрических параметров формовочного инструмента.....31
5. Экспериментальное исследование процесса гофрирования полосы в зубчатых валках.....37
 - 5.1. Цели и задачи.....37
 - 5.2. Опытная установка для исследования процесса гофрирования.....37
 - 5.3. Расчет геометрических параметров формовочного инструмента опытной установки.....39
 - 5.4. Оценка характеристик профиля получаемой гофрированной полосы.....43
6. Разработка конструктивных параметров опытно-промышленного стана.....46
 - 6.1. Расчет геометрических параметров формовочного инструмента.....46
 - 6.2. Расчет энергосиловых параметров процесса гофрирования.....49
 - 6.2.1. Выбор электродвигателя.....52
 - 6.2.2. Выбор редуктора.....54
 - 6.3. Компоновка оборудования опытно-промышленного стана.....55
 - 6.4. Технология изготовления кольцевых гофрированных полос.....58
 - 6.5. Расчет на прочность узлов опытно-промышленного стана.....57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ВВЕДЕНИЕ

Гофрирование листового металла (и, в особенности, тонколистового) может осуществляться не только в целях придания дополнительной жесткости и прочности элементам конструкций различных машин и сооружений, но и в иных целях.

Гофрированные полосы и ленты могут изготавливаться последовательной штамповкой на специальных прессах-автоматах или же формовкой в валках, выполненных в виде набора зубчатых дисков, повернутых в окружном направлении на некоторый угол относительно друг друга. Второй способ выгодно отличается от первого большей производительностью и относительной простотой применяемого инструмента и оборудования. Хотя достигаемая точность при последовательной штамповке гофрированных лент обычно выше, чем при формовке в валках, тем не менее, точность, обеспечиваемая обоими способами, будет примерно одинакова. Это связано с выполнением прижимного устройства непосредственно перед валками и направляющих, по которым лента будет задаваться точно в зубья валков. Поэтому изготовление ленты вторым способом представляется более эффективным. Именно этот способ и был выбран в качестве объекта исследования.

Анализ литературы показал, что процесс валковой формовки металлической ленты рассматриваемого профиля исследован до сих пор недостаточно. В том числе, не разработаны научно обоснованные методики расчета параметров формовочного инструмента и энергосиловых параметров процесса гофрирования, не решен ряд вопросов, касающихся влияния различных факторов (геометрии инструмента, соотношений между размерами элементов профиля ленты и т.д.) на процесс формовки, особенно, в случае прокатки ленты с мелкогофрированным профилем из тонколистового материала. Таким образом, исследование и усовершенствование технологии формовки ленты описанного выше типа в зубчатых валках имеет как научное, так и прикладное значение. Применение

исследуемого способа гофрирования позволяет повысить производительность и экономичность изготовления ленты по сравнению с методом последовательной штамповки, дает возможность усовершенствовать технологический процесс гофрирования ленты заданного профиля и использовать его в схемах промышленных установок соответствующего назначения. Это делает рассматриваемую проблему весьма актуальной.

Целью данной диссертационной работы является разработка опытно-промышленного стана для изготовления кольцевых гофрированных стальных полос, которые будут применяться в качестве кольцевых торцов тарных кабельных барабанов.

1. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГОФРИРОВАННОГО ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Элементы конструкций из гнутых профилей различных размеров широко применяются в автомобильном и тракторном машиностроении, строительстве, судостроении и других отраслях промышленности и сельского хозяйства. При этом наибольшую долю в потребляемом сортаменте составляют гофрированные профили [1]. Гофрирование (от франц. слова *gaufre* - прессовать складки, оттискивать узор) - это изгибание листовых металлических (стальных, алюминиевых и др.) и неметаллических (шифер, картон и др.) материалов для придания их поверхностям волнообразной формы с целью увеличения прочности и жесткости.

Гофрированные профили в зависимости от технологии их изготовления можно разделить на гофрированные штампованные профили, гофрированные гнутые профили проката и профили высокой жесткости (получаемые валковой формовкой).

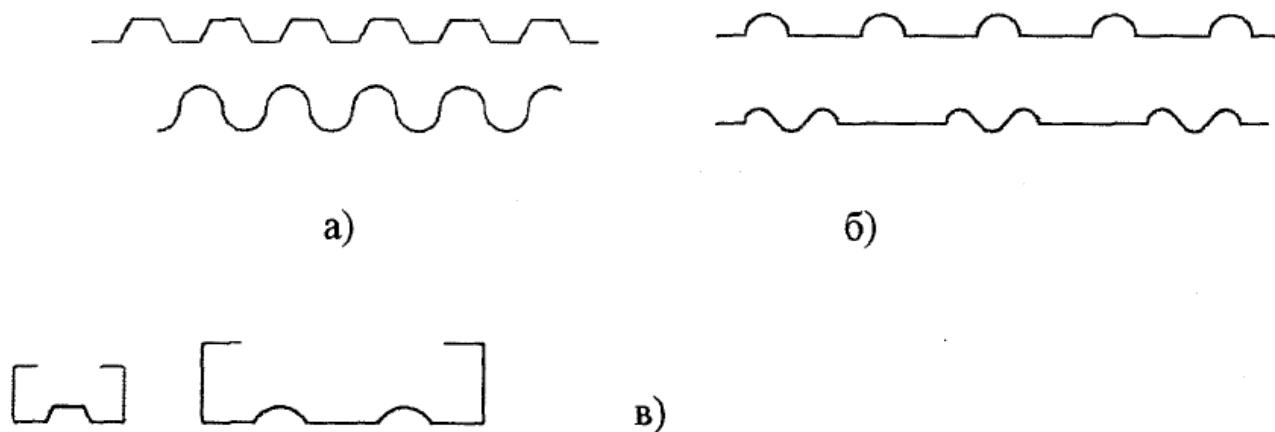


Рисунок 1 - Разновидности гофрированных штампованных профилей и гнутых профилей проката

Все многообразие используемых гофрированных штампованных профилей и гнутых профилей проката по форме, размерам и расположению гофров в поперечном сечении подразделяется на три подгруппы [2-5]:

- все поперечное сечение профиля или значительная часть его гофрировано и между гофрами нет разрывов в виде прямолинейных участков (рисунок 1, а);
- в поперечном сечении гофры отделены друг от друга прямолинейными участками (рисунок 1, б);
- профили типа сортовых с гофрами (рисунок 1, в).

Все перечисленные типы профилей могут иметь гофры различной формы: трапециевидные, полукруглые, овальные, треугольные, прямоугольные, полузамкнутые и др. [2] .

Существенным преимуществом деталей из гофрированных профилей (как штампованных, так и изготавливаемых профилированием) является значительно больший момент сопротивления поперечного сечения, чем у деталей из гладких листов той же или много большей толщины. Момент сопротивления гофрированного листа толщиной 1,5-4 мм может быть равен моменту сопротивления гладкого листа, толщина которого больше в 20-100 раз. Указанное обстоятельство является одной из причин широкого использования деталей из гофрированных профилей в конструкциях различных машин и оборудования, т.к. позволяет экономно расходовать металл, снизить массу и, соответственно, стоимость изделия.

Чаще всего применяют гофрированные профили, изготовленные из углеродистых или конструкционных марок стали. Используются и специальные стали, например нержавеющие, для обшивки боковых стен цельнометаллических пассажирских вагонов [3]. Детали из гофрированных профилей типа арок обладают повышенной жесткостью как в продольной, так и в поперечной плоскостях, поэтому их применяют в качестве несущих деталей различных машин.

Детали из гофрированных профилей получили распространение также и в конструкциях подъемно-транспортных механизмов. Так, для стрел башенных кранов ранее применялись швеллерные профили, однако опыт эксплуатации кранов показал недостаточную жесткость такой конструкции стрелы. Поэтому швеллерные профили были заменены холодногнутыми С-

образными с продольными гофрами, что значительно повысило жесткость конструкции в целом.

Общим для профилей высокой жесткости, изготавливаемых валковой формовкой, является то, что на их плоских участках в зависимости от назначения и условий эксплуатации за счет местной вытяжки наносятся усиливающие элементы в виде прерывистых гофров различной формы и ориентации, неглубоких сквозных рифлений либо сочетаний этих элементов. Благодаря этому значительно улучшаются механические характеристики металлопроката (момент сопротивления, момент инерции). Вследствие упрочнения металла происходит повышение его механических свойств (предела текучести, предела прочности).

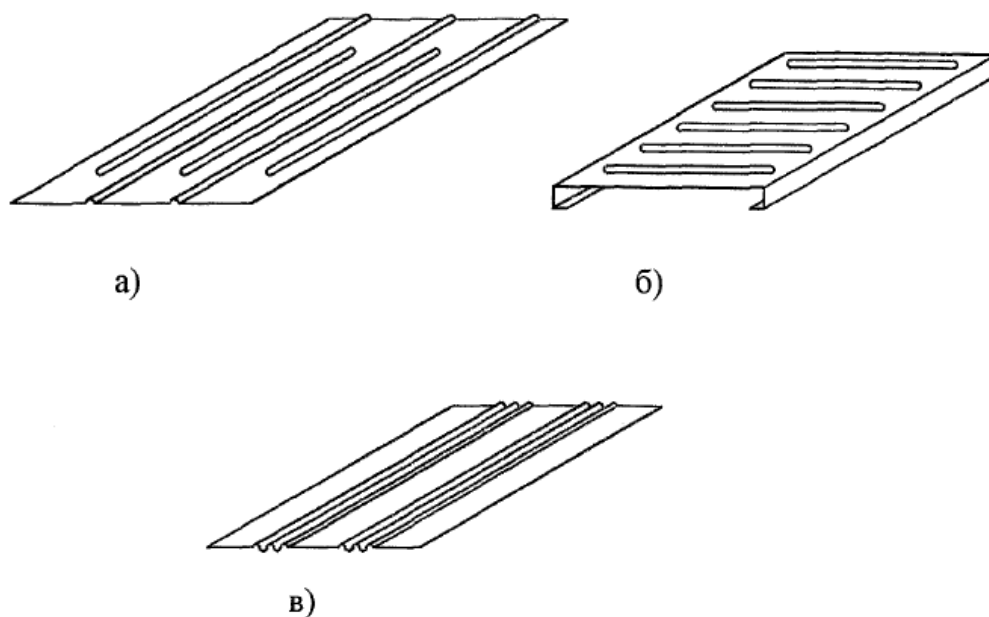


Рисунок 2 - Типы профилей высокой жесткости

Профили высокой жесткости можно разделить на четыре подгруппы [6]:

- листовые профили высокой жесткости (рисунок 2, а), представляющие собой листовые изделия с плоскими недеформированными участками вдоль кромок и периодическими гофрами различной формы и ориентации, выполненными на центральном участке профиля;

- тонкостенные профили высокой жесткости (рисунок 2, б) - сортовые гнутые профили типа корытных, швеллерных, С-образных, чаще всего больших сечений и разверток, на плоские стенки и полки которых нанесены прерывистые гофры жесткости;
- листовые и сортовые рифленые профили повышенной жесткости (рисунок 2, в), представляющие собой листовые или профильные изделия, усиленные по всему сечению или на отдельных участках мелкими сквозными продольными гофрами (рифлениями), которые при толщине заготовки 0,5-2 мм могут иметь высоту 1-5 мм и шаг 3-10 мм;
- комбинированные профили высокой жесткости - различные сочетания и модификации профилей первых трех групп.

Области применения профилей высокой жесткости в основном совпадают с областями применения гнутых профилей проката [6, 7, 8, 9].

Профили высокой жесткости находят широкое применение автотракторостроении. Они применяются в конструкциях автомобилей всех типов, автосамосвалов, для обшивок автобусов, в конструкциях бортов и днищ прицепов специального назначения, для наружных и внутренних обшивок авторефрижераторов и различного рода подножек и площадок.

В отдельную группу можно выделить гофрированные профили со сквозными периодически повторяющимися поперечными гофрами, получаемые формовкой в зубчатых валках тонкой полосы по всей ее ширине.

Такие профили, впрочем, могут изготавливаться и штамповкой на специальных автоматах, поэтому их трудно отнести к одной из трех указанных выше групп.

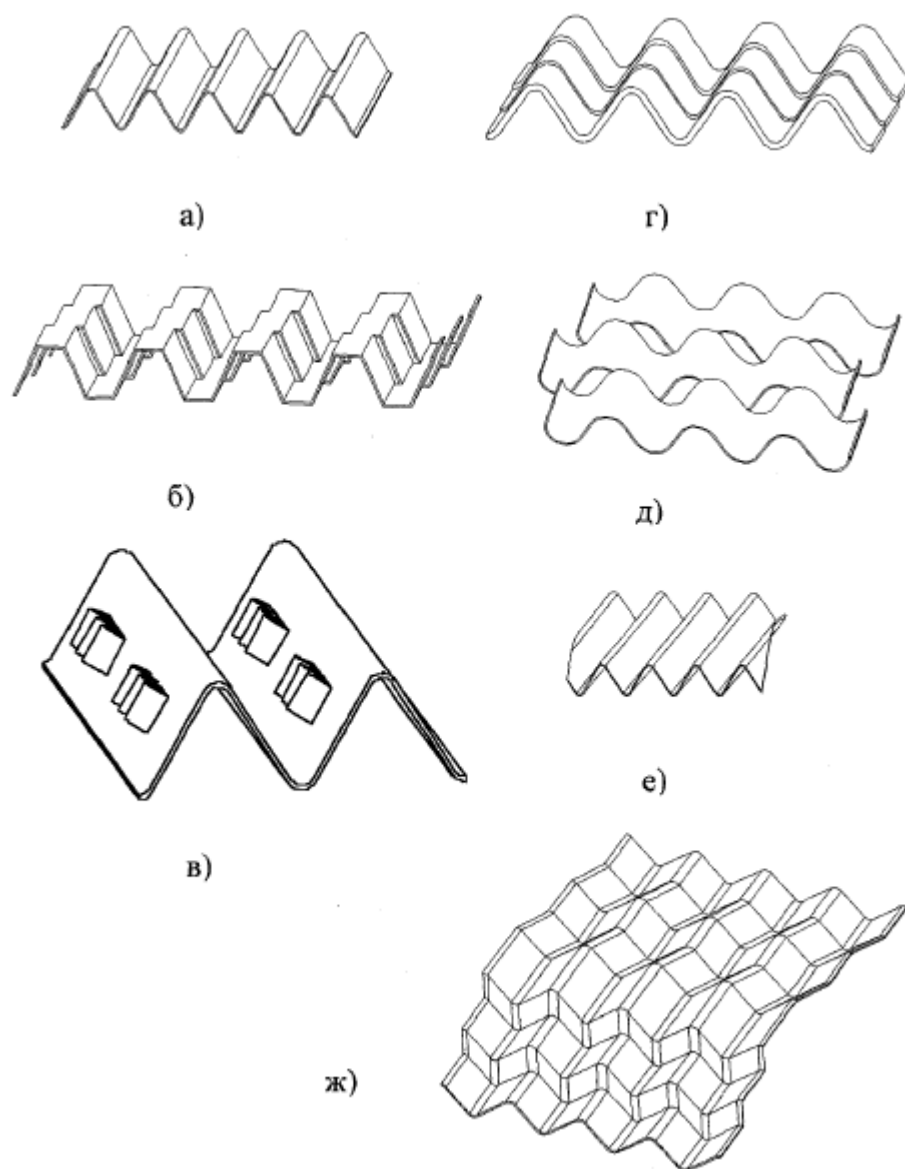


Рисунок 3 - Виды профилей гофрированных лент

Профили этой группы могут иметь открытые гофры различной конфигурации, располагающиеся под прямым углом (рисунок 3, а) или наклонно (косоплиссированные ленты, рисунок 3, е) к направлению формовки. Они могут состоять из нескольких гофрированных «дорожек», смещенных относительно друг друга по высоте («металлочерепица», рисунок 3, г) или по длине (рисунок 3, б, д). При смещении по длине перемычки между «дорожками» находятся либо в вершинах (рисунок 3, б), либо на наклонных участках гофров (рисунок 3, д).

Производство этих видов гофрированных профилей получило мощный импульс в связи с переходом на массовое изготовление автотракторных радиаторов трубчато-ленточного и пластинчато-ленточного типа [10].

Рассматриваемые профили применяются и в строительстве. Например, в качестве элементов кровли используются профили (рисунок 3, а) при их достаточно большой ширине и толщине и, в особенности, профили типа «металлочерепицы» (рисунок 3, г). Особой разновидностью профилей являются косопрессированные ленты (рисунок 3, е) - с зигзагообразными складками, причем обычно полки складки составляют с направлением длины ленты угол 30-60°. Косопрессированная фольга или лист применяется как строительный элемент при изготовлении упорядоченной набивки теплообменных колонн. При этом отдельный строительный элемент образует один слой набивки. Благодаря чередующемуся расположению слоев, складки которых перекрещиваются, получается набивка с открытой перекрестной структурой каналов.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОФРИРОВАНИЯ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Гофрирование металла производится штамповкой на прессах, профилированием на профилегибочных агрегатах, формовкой в валках на специализированных станах или установках, а также на валковых листогибочных машинах с эластичным покрытием валков.

Изготовление гофрированных профилей штамповкой из листовых заготовок (рисунок 5) производится, как правило, на специальных листогибочных прессах, имеющих длинное и узкое штамповочное пространство (рисунок 4). Наибольшие технологические возможности имеют гибочные прессы открытого типа с С-образной станиной.

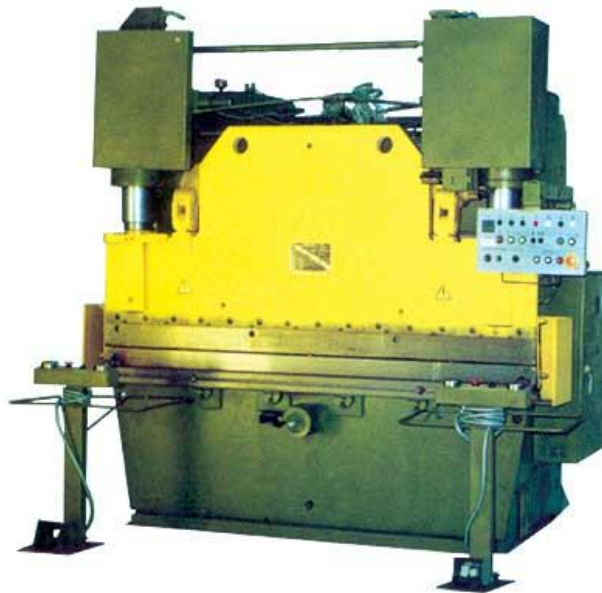


Рисунок 4 – Листогибочный пресс

Максимальная длина профиля, изгибаемого за один ход ползуна, не может превышать длины стола и ползуна. Существуют гибочные прессы с максимальной длиной гибки до 8 м [11]. Гибка заготовок большей длины производится последовательно за несколько ходов прессы, причем за каждый переход выгибается только одна петля. В процессе изгиба заготовка должна затягиваться в штамп только с одной стороны (задней по отношению к направлению подачи), для чего в конструкции штампа необходимо наличие прижима. Размер от линиигиба до края заготовки ограничивается вылетом станины.

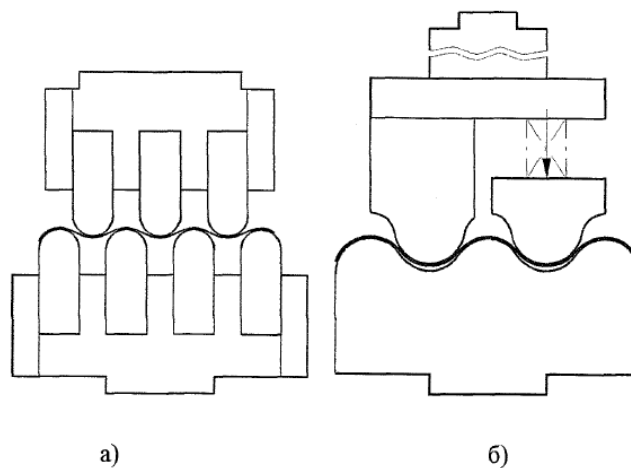


Рисунок 5 – Последовательная штамповка гофрированных профилей

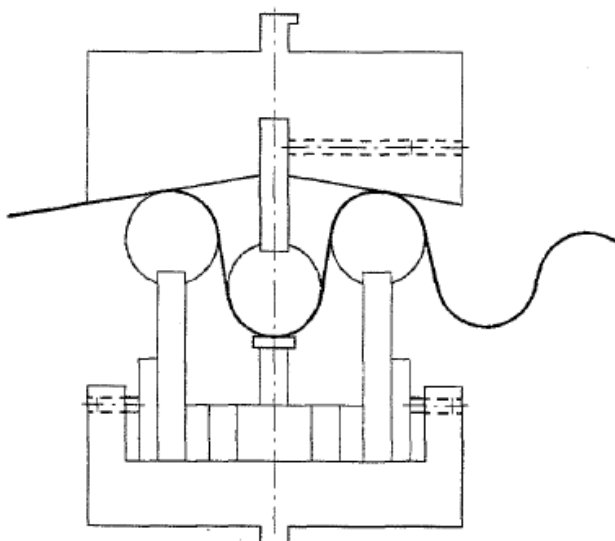


Рисунок 6 – Гибка в штампе со сменными проставками

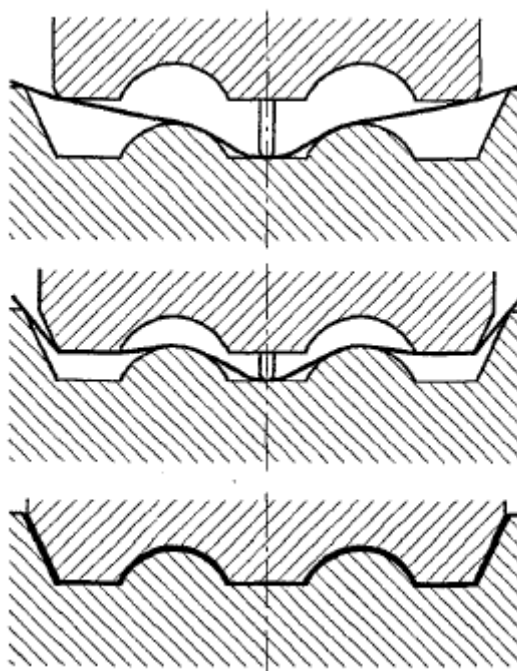


Рисунок 7 – Предварительная гибка среднего участка

Используя штамп, изображенный на рисунке 6, можно путем смены проставок изготавливать гофрированные листы с разным шагом и высотой профиля.

Для гибки профилей типа сортовых с гофрами применяют штампы с предварительной гибкой среднего участка (рисунок 7). В начале хода ползуна происходит гибка среднего участка заготовки утапливающимся

сухарем, подпираемым пружинами. При достижении сухарем дна матрицы он начинает утапливаться в пуансоне, а другие рабочие элементы пуансона производят гибку боковых участков и окончательную формовку среднего участка. Благодаря предварительной гибке среднего участка значительно снижается его растяжение в процессе гибки. Таким способом могут гнуться детали с глубокими канавками и ребрами [12].

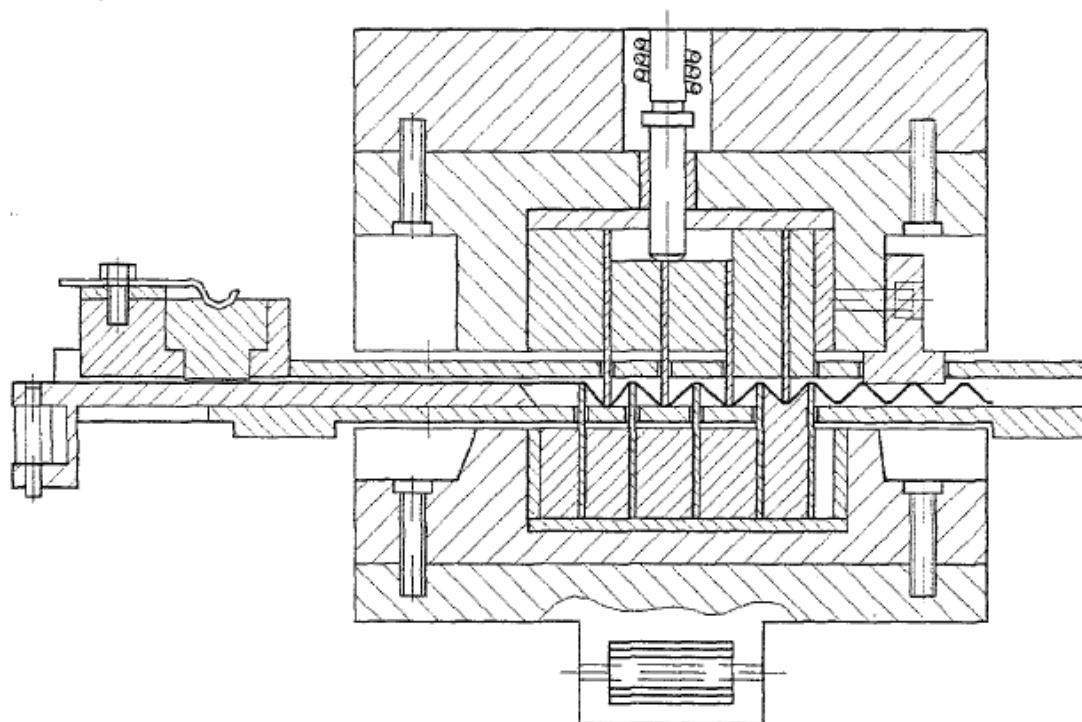


Рисунок 8 – Штамповка ленты с мелкогофрированным профилем

Штамповка на прессах или специальных автоматах гофрированных профилей типа рисунок 3, а, б, в, д, ж производится в штампах достаточно сложной конструкции (например, рисунок 8) [13].

В представленном штампе лента штампуются последовательно, по одному гофру, при этом используется встречный метод штамповки, т.е. верхняя и нижняя половины штампа движутся навстречу друг другу, а гофрированная лента не перемещается в вертикальной плоскости.

Наиболее производительным и экономичным методом при массовом производстве гофрированных деталей является профилирование.

Профилирование может выполняться в одной непрерывной линии с другими производственными и отделочными операциями: шовной и точечной сваркой, резкой металла на мерные длины, пробивкой отверстий (это позволяет, в частности, получать сварные гофрированные профили практически неограниченной длины). Производительность профилирования значительно выше, чем процессов штамповки (скорость перемещения профиля в валках профилировочного стана достигает 2,5-3 м/с). Оборудование для профилирования менее сложно, дешевле в изготовлении и проще в эксплуатации, чем прессовое [14].

Калибровка валков для изготовления гофрированных профилей может быть выполнена по одной из следующих основных систем: последовательной, одновременной или комбинированной. Точность размеров и формы гофрированных листов, изготовленных методом профилирования, зависит от принятой системы калибровки и настройки профилировочного стана.

Способ формовки гофрированных профилей в зубчатых валках известен уже довольно давно. Первое отечественное авторское свидетельство на устройство для гофрирования ленты в паре зубчатых валков относится к 1959 г. [15].

Формовка профилей высокой жесткости осуществляется путем пропускания листа между парой вращающихся валков, на одном из которых закреплены вогнутые (матрицы), а на другом - выпуклые (пуансоны) формирующие элементы. Клетки с формирующими валками могут входить в состав как специализированных станов, так и станов общего назначения.

На рисунке 9 показано устройство для гофрирования листового металла. Преимуществом устройства является то, что оно позволяет производить формовку профилей с высокой точностью изготовления требуемой конфигурации гофров, что достигается тем, что нижний валок устройства постоянно прижат к верхнему при помощи гидроцилиндров.

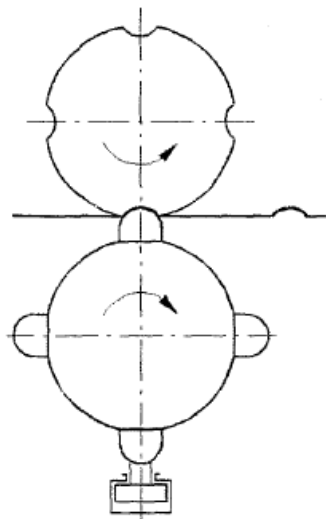


Рисунок 9 – Устройство для валковой формовки поперечных периодически повторяющихся гофров

В связи с тем, что формовка сквозных поперечных гофров в паре зубчатых валков происходит с различной окружной скоростью на участках выпуклых и вогнутых формующих элементов, при определенных условиях (тонколистовая заготовка из пластичной стали или с покрытием) может ухудшаться качество готовой продукции.

На рисунке 10 показаны схемы гофрирования на двух- и одновалковых листогибочных машинах: а) - профильным жестким валком и валком с эластичным покрытием, б) - профильным жестким валком и эластичным покрытием на плоском основании, в) - жестким плоским рельефным элементом и валком с эластичным покрытием, г) - жестким плоским рельефным элементом, эластичной прокладкой и жестким валком.

Для гибки гофрированных панелей из листов с двухсторонним покрытием могут применяться двухвалковые машины с эластичным покрытием обоих валков. Валки при этом имеют переменную толщину покрытия по контуру сечения (рисунок 11).

При формовке профилей с использованием эластомеров возможно улучшение качества получаемых гофров. Помимо этого, сокращаются затраты на изготовление инструмента. Однако существенным недостатком

этих способов гофрирования является повышенный расход энергии, связанный с деформированием эластичного инструмента.

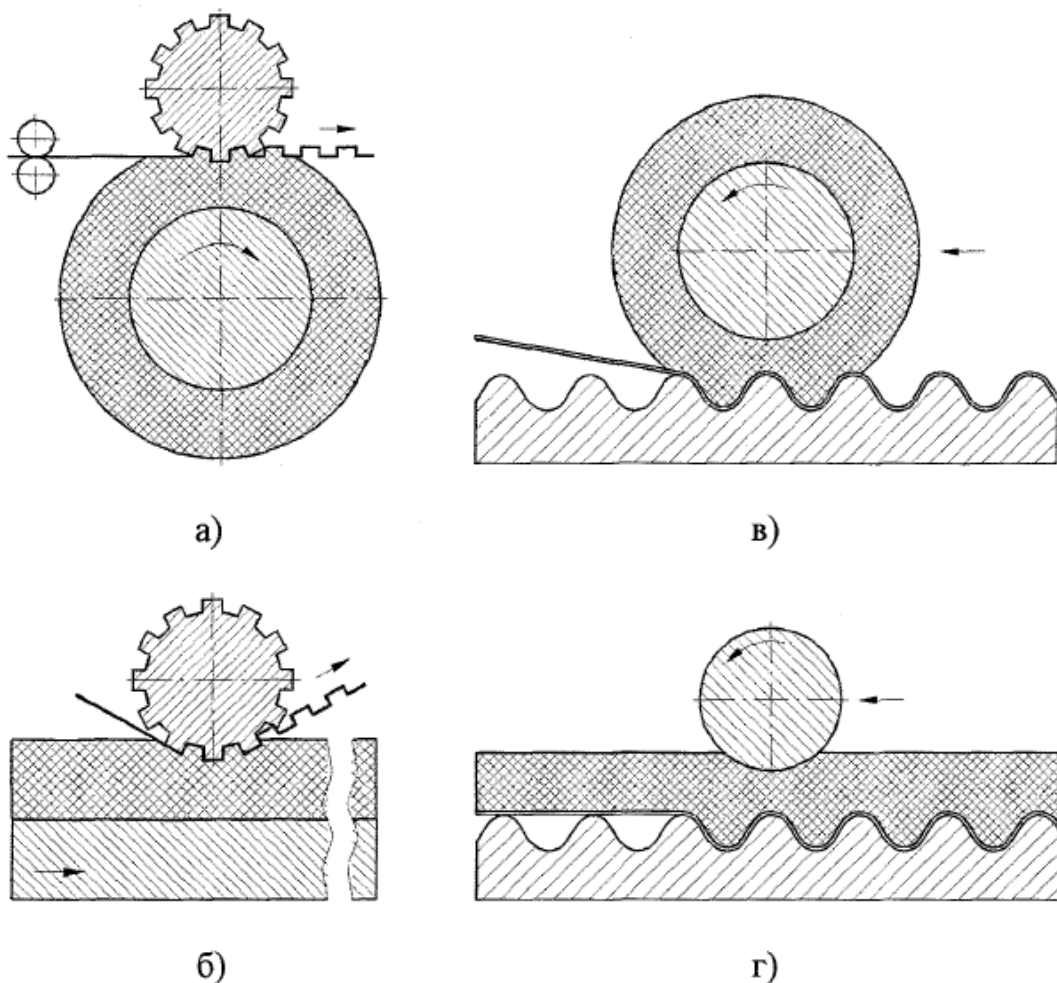


Рисунок 10 – Гофрирование в валках с эластичным покрытием

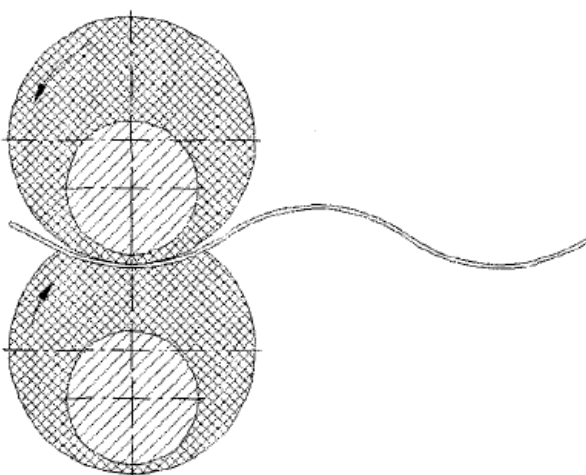


Рисунок 11 – Гибка в валках с эластичным покрытием обоих валков

Гофрирование ленты в жестких зубчатых валках осуществляется, как правило, на узкоспециализированных установках, включающих в себя устройство предварительного гофрирования, устройство сближения гофров, калибрующее устройство и механизм отрезки [16-18].

Устройство предварительного гофрирования состоит из одной или двух пар зубчатых валков (возможно разных диаметров) и предназначено для формовки гофров на неполную глубину.

Устройство сближения гофров служит для уменьшения шага гофров ленты и обычно выполняется в виде тормозного механизма [17]. В некоторых случаях это устройство представлено ленточными транспортерами с плоскими или клиновыми ремнями, либо цепными транспортерами, снабженными металлическими накладками с насечками или накладками из упругого материала, например, капрона. Ленты транспортеров взаимодействуют с боковыми поверхностями гофрируемой ленты.

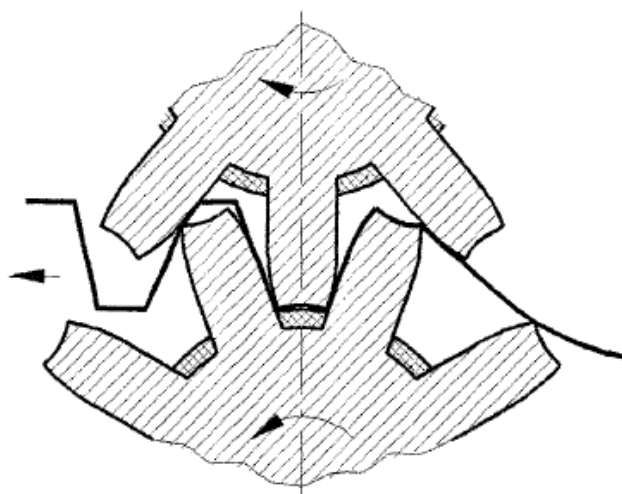


Рисунок 12 - Гофрирование полосы в жестких валках с эластичными элементами

Фирмой (Associated Engineering Limited) (Великобритания) был запатентован способ, направленный на улучшение качества формуемых профилей в вершинах открытых поперечных гофров (рисунок 12) [19]. Валки, выполненные по типу зубчатого зацепления, имеют упругие

элементы, расположенные во впадинах зубьев. При прохождении полосы через рабочую клеть гофры формируются между упругими элементами одного вала и жесткими элементами другого.

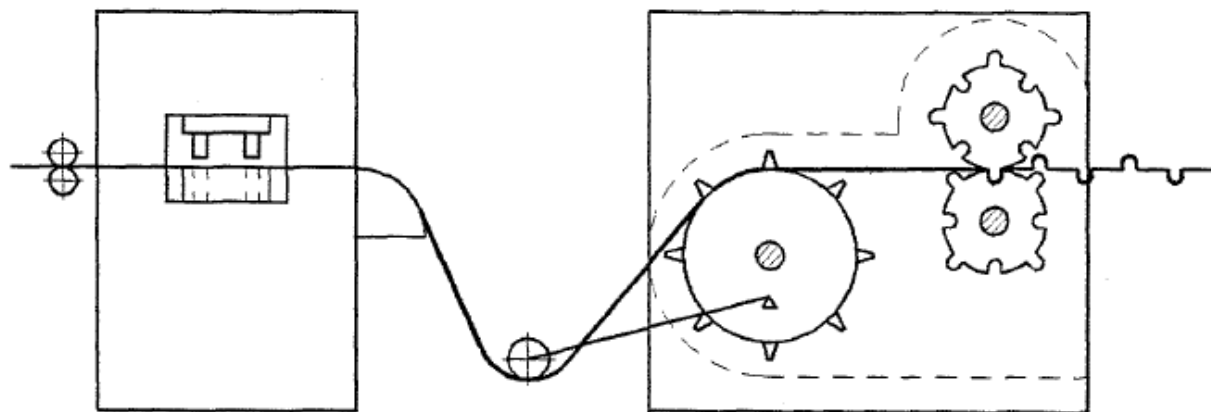


Рисунок 13 - Установка для изготовления ленты с отверстиями в вершинах гофров

На рисунке 13 изображена установка для гофрирования ленты с отверстиями в вершинах гофров, разработанная немецкой фирмой «L. Schuler GmbH» [20]. Предварительно пробитые в штампе отверстия (хотя перфорирование может производиться также в валках) используются для центрирования тянущим валком при подаче ленты в гибочные валки, что способствует увеличению точности шага гофров.

Резка ленты на отдельные полосы осуществляется дисковым ножом или фрезой.

При формовке гофров сложной конфигурации может происходить залипание ленты во впадинах зубьев, поэтому в гофрирующее устройство иногда входит узел выталкивания [21].

Для получения косоплисированной полосы (рисунок 14) используются формовочные валки, также выполненные в виде цилиндрических прямозубых колес, а сама полоса подается в валки под углом, равным требуемому углу наклона полок гофров к кромке полосы. При этом максимальная ширина прокатываемой полосы ограничивается шириной валков. Поэтому для гофрирования косоплисированной ленты применяются

валки, специальной конструкции, обеспечивающие перемещение ленты по постоянной траектории при ее подаче [22].

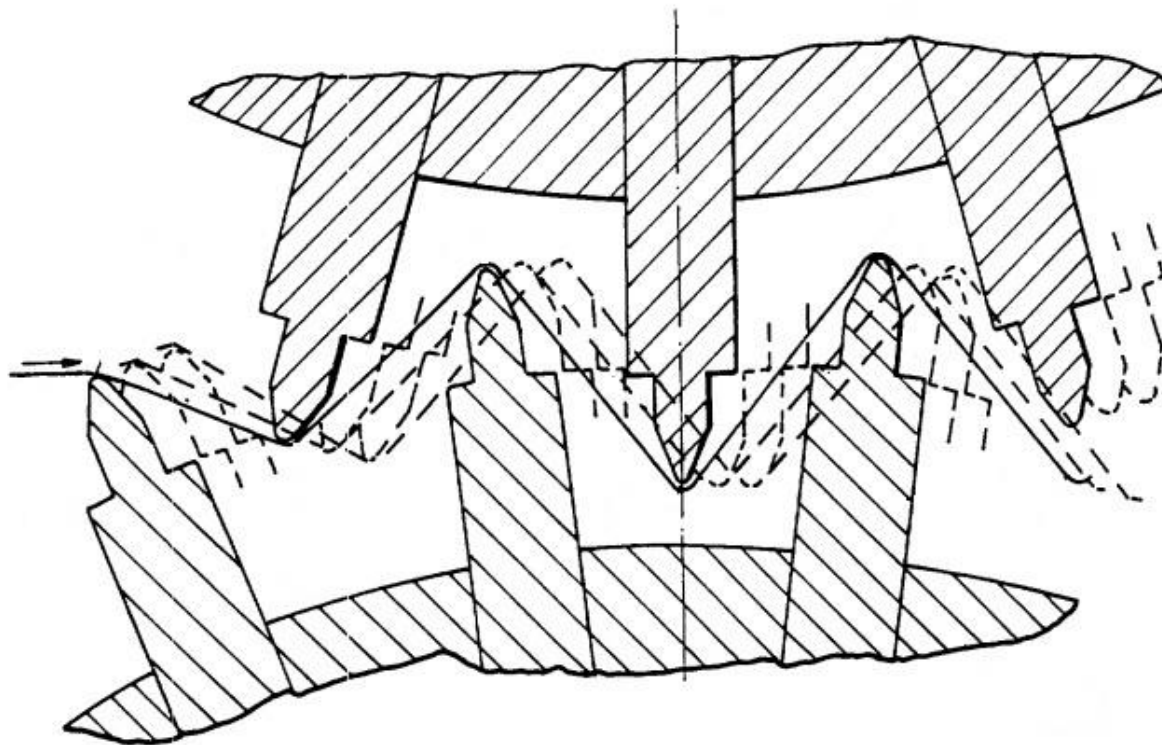


Рисунок 14 - Получение косоплиссированной полосы

Необходимость использования в этом случае валков в виде прямозубых, а не косозубых, колес обусловлена тем, что лишь в прямозубых валках образование гофров начинается и заканчивается одновременно по всей ширине ленты. В косозубых валках лента сминается, в связи с чем ленту, имеющую криволинейную шевронную линию перегиба у вершин гофров (рисунок 3, ж), формовкой в зубчатых валках производить нельзя.

Для формовки профилей, состоящих из нескольких гофрированных «дорожек» (рисунок 3, б, д), используются валки, набранные из отдельных зубчатых дисков, смещенных относительно друг друга в окружном направлении на некоторый угол (рисунок 15). При этом гибка гофров вдоль каждой «дорожки» осуществляется зубьями дисков, находящихся в «зацеплении», а надрезание ленты между «дорожками» - заостренными

боковыми кромками зубьев соседних дисков. Для сохранения целостности перемычек между «дорожками» ленты на боковых поверхностях дисков по основной окружности могут выполняться канавки [23].

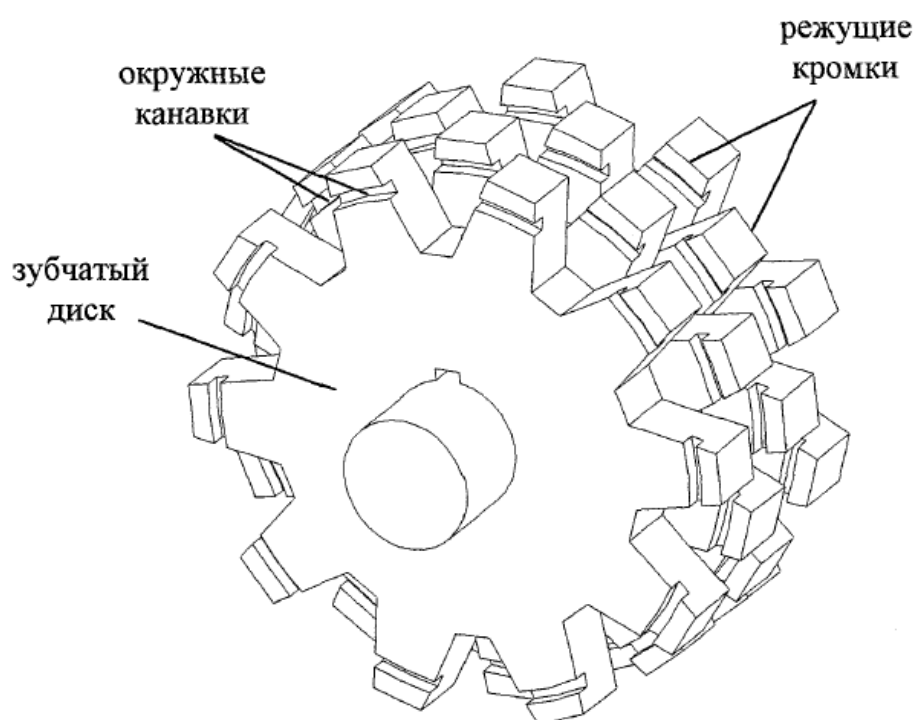


Рисунок 15 - Валок для формовки профилей, состоящих из нескольких «дорожек»

Несмотря на указанные выше недостатки, производительность формовки в валках даже при умеренных скоростях вращения шестерен-валков (50 об./мин.) и ширине валков 100 мм в 1,5-2 раза выше, чем при последовательной штамповке на автоматах лучших образцов. При этом штамповочные автоматы имеют предельную производительность, тогда как при формовке в валках производительность может быть дополнительно повышена, например, путем увеличения радиальных размеров валков или скорости прокатки.

Сравнение основных показателей способов гофрирования листового металла между собой приведено в таблице 1. Цифрой 1 обозначены наилучшие показатели.

Таблица 1 - Сравнение показателей различных способов гофрирования

Показатели способа гофрирования	Штамповка	Профилирование	Формовка в валках
Качество профилей	1	2	3
Производительность	3	1	2
Простота используемого инструмента и оборудования	3	2	1
Сортамент профилей	1	2*	3**
* - постоянное поперечное сечение по всей длине профиля, ориентация гофров только продольная; ** - гофры только открытой формы, ограничения по толщине гофрируемого материала			

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЬНЫХ БАРАБАНОВ

В производстве электрокабельной продукции используются деревянные и металлические кабельные барабаны. Кабельные барабаны подразделяются на технологические и тарные. Как правило, деревянные кабельные барабаны используются как тарные для поставки электрокабельной продукции потребителям. Металлические кабельные барабаны изготавливаются по ОСТ 16.0684.014-80, а также по техническим условиям предприятий изготовителей.

При производстве электрокабельной продукции, как правило, используются два типа металлических кабельных барабанов – ВАЛ и ВМР. Барабаны этих типов – это тара для использования в процессах кабельного производства, внутреннего перемещения продукции и обеспечении производственных нужд. Поскольку тара таких типов используются

многократно, требования к ней достаточно специфичны. Высокая скорость вращения барабанов и большое количество транспортируемой продукции требует соблюдения чистоты обработки поверхностей барабанов, и наличия условий для поддержания конструктивной прочности. Поэтому исходный материал для кабельных барабанов – сталь, имеющая антикоррозионное и устойчивое к истиранию изолирующее покрытие.

Тип барабана BAL (рисунок 16) – это металлический барабан, обладающий большой прочностью за счет использования гофрированных щек. Тип барабана ВМР (рисунок 17) – характеризуется плоскими внутренними поверхностями щек.

Тип барабана BAL используется как тарный барабан для транспортировки электрокабелей потребителям.

На рисунке 18 приведены конструкции металлических барабанов BAL и ВМР, а в таблице 2 – основные геометрические размеры этих барабанов.

Длина электрического кабеля наматываемого на барабан, зависит от размера барабана и диаметра электрического кабеля (или провода).



Рисунок 16 - Тип барабана BAL



Рисунок 17 – Тип барабана ВМР

Обозначения (размеры указаны в мм):

КБ - № барабана

Ø1 (D1) - диаметры щек

Ø2 (D2) - диаметр шейки

Ø3 (D3) - наружные диаметры втулок

Ø4 (D4) - внутренние диаметры втулок

Ø5 (D5) - диаметры поводковых отверстий

e - расстояния от центров щек

до центров поводковых отверстий щеки к шейке

L1 - габаритная ширина барабана

L2 - ширина шейки

K1 - ширина отверстия для ввода кабеля

K2 - длина отверстия для ввода кабеля

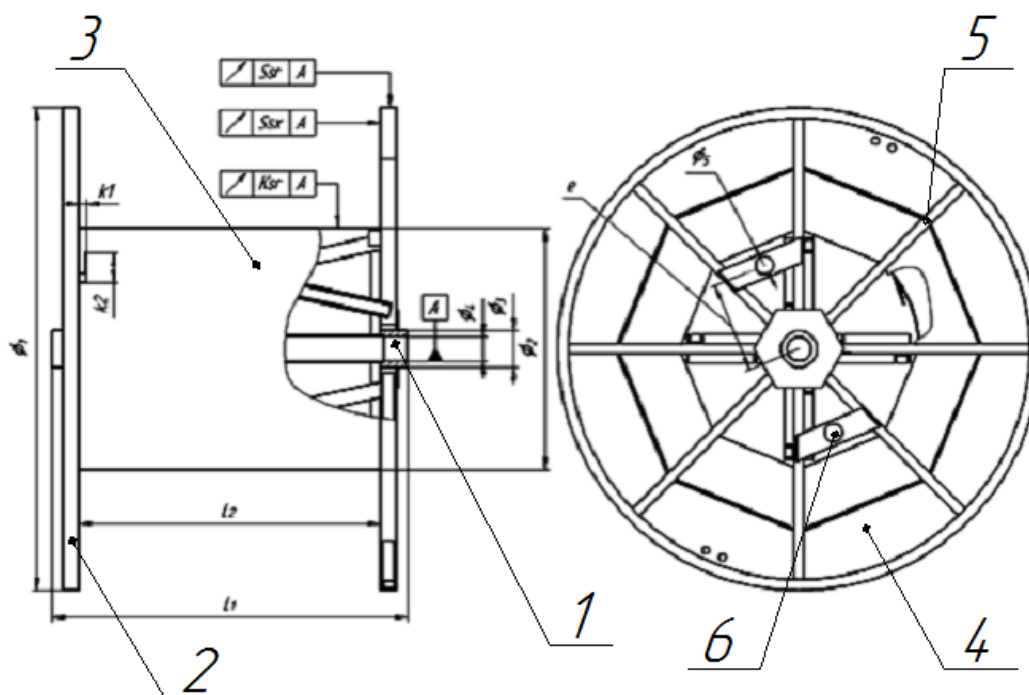


Рисунок 19 - Конструкция кабельного барабана ВМР:

1- втулка; 2- обод; 3- шейка; 4- щека;

5 – связь; 6 – пластина.

Таблица 3 - Геометрические размеры кабельного барабана ВМР

КБ	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	e	L1	L2	K1	K2	Ksr	Ssr	Ssx	Цена, руб.
№8	800	450	60	50	24	80	370	240	30	40	5	5	5	8500
№10	1000	500	101	80	30	160	710	560	20	100	5	5	5	15000
№12	1250	630	101	80	63	200	950	800	50	150	5	5	5	22000
№14	1400	710	101	80	63	300	1060	900	50	150	5	5	5	26000
№15	1500	1200	80	53	63	320	640	500	50	150	-	-	-	30000
№16	1600	800	101	80	63	300	1180	1000	50	200	5	5	6	32000
№18	1800	890	120	100	63	300	1320	1120	50	200	6	7	7	40000
№20	2000	1122	120	100	63	300	1500	1250	50	200	7	7	7	47000
№22	2200	1282	166	125	63	300	1700	1400	50	200	9	9	9	52000
№25	2500	1500	166	125	63	300	1900	1600	100	300	10	10	10	62000
№26	2600	1300	139	100	63	300	1620	1360	50	200	10	10	10	80000
№28	2800	1802	200	140	63	500	2120	1720	130	250	12	12	12	95000
№30	3000	1800	192	150	63	600	2000	1600	125	300	-	-	-	100000
№32	3200	1800	192	150	63	500	1870	160	125	400	12	12	12	130000
№34	3390	2400	166	125	63	600	2000	1600	125	300	-	-	-	150000
№36	3600	2400	166	125	63	600	2150	1850	125	300	-	-	-	170000

Обозначения (размеры указаны в мм):

КБ - № барабана

Ø1 (D1) - диаметры щек

Ø2 (D2) - диаметр шейки

Ø3 (D3) - наружные диаметры втулок

Ø4 (D4) - внутренние диаметры втулок

Ø5 (D5) - диаметры поводковых отверстий

e - расстояние от центров щек до центров поводковых отверстий

L1 - габаритная ширина барабана

L2 - ширина шейки

K1 - ширина отверстия для ввода кабеля

K2 - длина отверстия для ввода кабеля

Ksr - радиальные биения шейки

Ssr - радиальные биения щеки

Ssx - торцевые биения щеки

На чертеже (ЮУрГУ-15.04.02.2017.221.03.00.00.00.00.СБ) приведена схема металлического кабельного барабана типа ВАЛ №18, разработанного ООО «Транслайн» (Россия, г. Санкт-Петербург). Изготовление таких барабанов предполагается на ООО «Промышленные ресурсы Урала» (г. Пермь) для использования на ОАО «Пермьэлектрокабель» и поставки электрокабельной продукции в северные регионы России для добычи газа и нефти компании «Газпром».

Конструктивно барабан состоит из гофрированной щеки 2, имеющей трапецеидальные гофры, щека выполнена из стальной мягкой полосы, размерами 1,5 x 450 мм по ГОСТ 9045-93[24]. По наружному диаметру щеки 2 приварена обечайка 3 из горячекатанной полосы 8 x 50 мм по ГОСТ 16523-97 [25]. Шейка 8 представляет собой сварной полый цилиндр, выполненный из полосы размерами 2 x 1170 мм по ГОСТ 17066-94 [26]. В шейке 8 имеется прямоугольный паз 70 x 250 мм для электрокабеля. С торцов шейки 8 установлена сварная крестообразная связь из гнутого швеллера по ГОСТ 8240-97 [27]. В центре крестообразной связи вварена втулка для установки оси для выполнения технологических операций наматывания и разматывания электрокабеля. Крестообразная связь имеет также отверстия для грузозахватных устройств и выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Грузоподъемность барабана в снаряженном состоянии 3 т.

Разработчик конструкции кабельного барабана № 18 ВАР ООО «Транслайн» предполагает изготовление гофрированных щек штамповкой. В качестве альтернативного варианта технологии в ООО «Промышленные ресурсы Урала», рассматривается возможность изготовления щек с использованием зубчатых валков, как более производительный и по предварительным оценкам менее затратный вариант.

В связи с этим, целью настоящей работы является разработка опытно-промышленного стана для получения кольцевых гофрированных щек. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику расчета параметров зубчатого валка;
- разработать опытную установку для получения кольцевых гофрированных щек и экспериментально оценить правильность разработки методики расчета параметров зубчатого валка;
- разработать основные технические параметры опытно-промышленного стана и технологию изготовления кольцевых гофрированных полос.

4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

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 получить изделие требуемой кривизны.

Вместе с тем, из анализа методов и оборудования получения гофрированных изделий из полосы, рассмотренных в разделе 2, все большее применение получают технологии гофрирования с использованием зубчатых валков.

Исходя из вышеизложенного, для получения кольцевых гофрированных полос целесообразно использовать сочетание этих двух

технологий и осуществлять процесс гофрирования в конических зубчатых валках.

Предварительно, перед разработкой методики определения геометрических параметров формовочного инструмента, пропускались через зубчатое прямозубое зацепление стальные мягкие тонкие полосы. В результате установлено, что деформируемые полосы точно повторяют форму зубчатого зацепления. Расстояние между гофрами соответствует шагу зацепления, т.е. расстоянию между одноименными профилями соседних зубьев; практически отсутствует упругая отдача при деформации полосы. Эту особенность формообразования гофров будем использовать при определении геометрических параметров инструмента, т.е. упругая отдача полосы не учитывается.

На рисунке 20 приведена схема гофрирования полосы в зубчатых валках, а на рисунке 21 – схема зубчатого валка. 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 неэвольвентное зацепление. Основные параметры зубчатого зацепления показаны на рисунках 20 и 21.

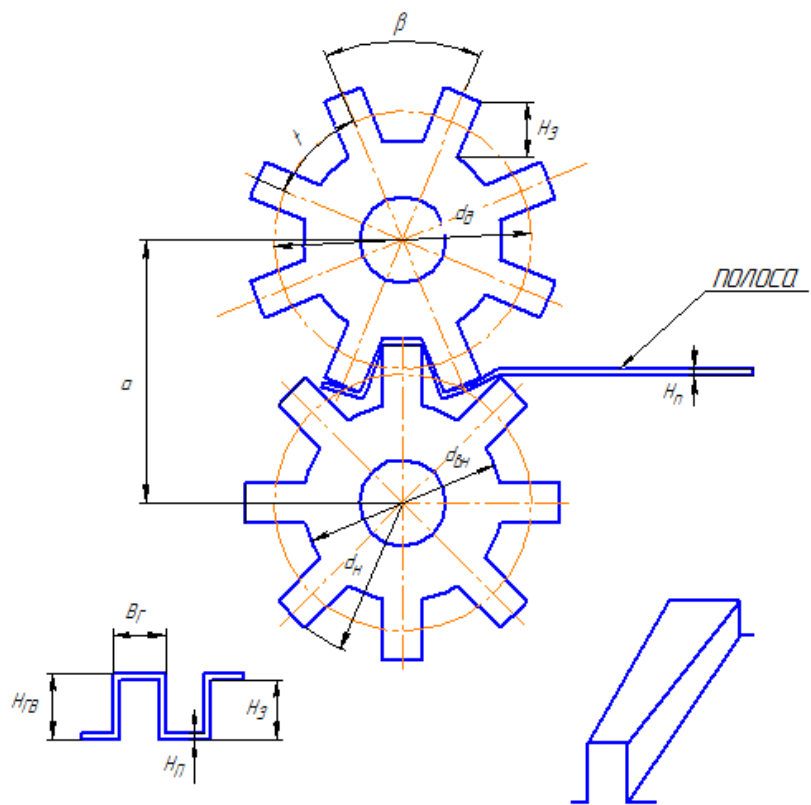


Рисунок 20 – Схема гофрирования полосы в зубчатых валках

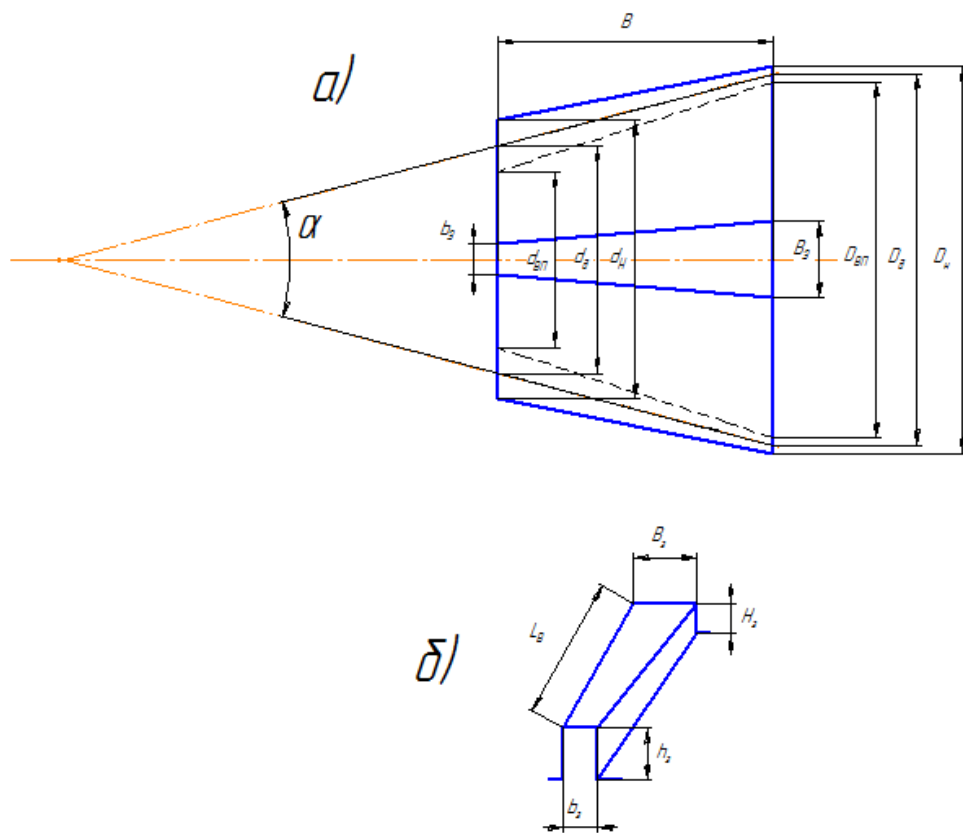


Рисунок 21 – Схема зубчатого валка:

а) схема валка; б) схема зуба

При расчете геометрических параметров инструмента целесообразно исходить из количества гофров. В разработанной конструкции щеки (ЮУрГУ-15.04.02.2017.221.03.00.00.00.00.СБ) количество гофров равно $n=25$. При этом шаг между гофрами со стороны шейки равен $t_{\Gamma} = C_{\text{ш}}/n_{\Gamma}$, где $C_{\text{ш}}$ - длина окружности по наружному диаметру шейки $C_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}}$ (рисунок 22). Предполагается, что шаг между гофрами равен шагу между зубьями по делительному диаметру зубьев $d_{\text{д}}$. Высота зуба h_3 равна $h_3 = H_{\Gamma} - H_{\Pi}$, где H_{Γ} и H_{Π} - высота гофры и полосы, соответственно.

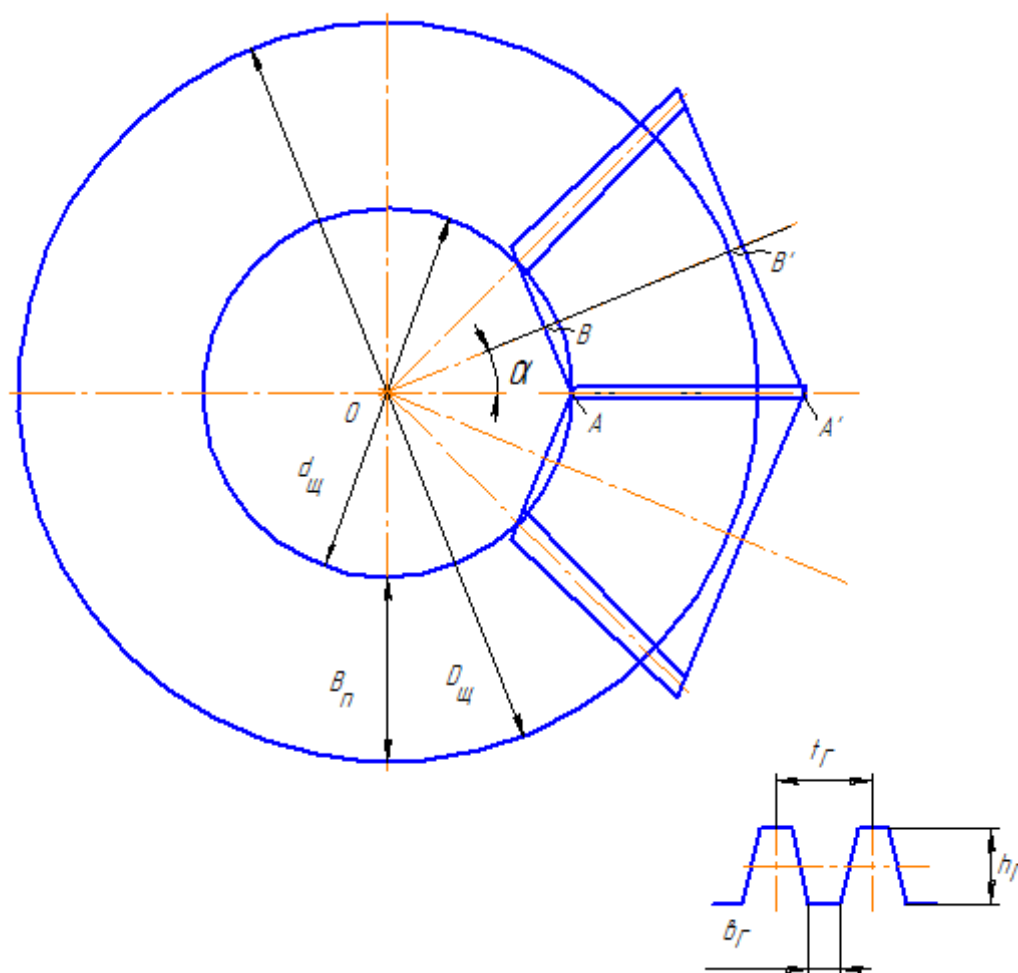


Рисунок 22 – Схема к определению геометрических параметров инструмента

Основным геометрическим параметром зубчатого валка можно считать угол конической поверхности α , проходящий через делительный диаметр

валка d_d со стороны внутреннего диаметра щеки (или наружного диаметра шейки $d_{ш}$). Угол α можно определить из прямоугольного треугольника OAB (рисунок 22).

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{AB}{OA} = \frac{0,5d_d}{0,5d_{ш}} = \frac{d_d}{d_{ш}}, \quad (4.1)$$

$$\text{откуда } \alpha = 2 \arcsin \frac{d_d}{d_{ш}}. \quad (4.2)$$

Длина валка равна

$$L_B = 0,5(D_{ш} - \frac{d_d}{\tan \frac{\alpha}{2}}) \quad (4.3)$$

Делительный диаметр валка D_d со стороны наружного диаметра щеки равен:

$$D_d = 2D_{ш} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (4.4)$$

Длина концентрической окружности c_d равна:

$$c_d = \pi d_d \quad (4.5)$$

Количество зубьев конического зубчатого валка равно:

$$Z = \frac{c_d}{t_\Gamma} \text{ или } Z = \frac{\pi d_d}{t_\Gamma}, \quad (4.6)$$

где t_Γ – шаг между гофрами по внутреннему диаметру щеки.

$$t_\Gamma = \frac{\pi \cdot 180}{25};$$

Угол β (рисунок 20) между соседними зубьями равен:

$$\beta = \frac{360^\circ}{Z} \quad (4.7)$$

Шаг между зубьями на большем делительном диаметре зубчатого валка равен:

$$T = \frac{\pi D_d}{Z} \quad (4.8)$$

Ширина зуба на меньшем делительном диаметре валка d_d определяется шириной полки гофра b_Γ и толщиной полосы

$$b_3 = b_\Gamma - 2H_\Pi. \quad (4.9)$$

Высоту зуба и его ширину на большем диаметре (со стороны обечайки) валка необходимо определять из условия равенства длин полосы со стороны шейки l_Π и обечайки L_Π .

При гофрировании полосы ее длина на шаге гофры равна (рисунок 20) $l_\Pi = L_\Pi$

$$l_\Pi = 2(h_3 + b_3 + H_\Pi) \quad (4.10)$$

При этом h_3 и b_3 задаются, исходя из конструктивных соображений щеки.

Наружный диаметр валков по шейке равен:

$$d_n = d_d + h_3, \quad (4.11)$$

а диаметр впадин валка

$$d_{вп} = d_d - h_3 \quad (4.12)$$

Аналогично, длина полосы на шаге по обечайке равен

$$L_\Pi = 2(H_3 + B_3 + H_\Pi), \quad (4.13)$$

Полагая, что шаг гофров по обечайке равен:

$$T_3 = \frac{\pi D_d}{Z}, \quad (4.14)$$

получаем ширину зуба по обечайке

$$B_3 = \frac{T_3}{2} - 2H_\Pi \quad (4.15)$$

имеем, учитывая выражение (4.10-4.13),

$$H_3 = 0,5l_\Pi - \frac{0,5\pi D_{ш}}{n} - H_\Pi = 0,5(l_\Pi - \frac{\pi D_{ш}}{n} - H_\Pi) \quad (4.16)$$

Тогда наружный диаметр валка по обечайке равен

$$D_n = D_d + H_3, \quad (4.17)$$

а диаметр впадин

$$D_{вп} = D_d - H_3 \quad (4.18)$$

Таким образом разработан расчет геометрических параметров формовочного инструмента.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОФРИРОВАНИЯ ПОЛОСЫ В ЗУБЧАТЫХ ВАЛКАХ

5.1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Основной целью разработки опытной установки по получению гофрированных кольцевых полос является проверка правильности методики расчета геометрических параметров формовочного инструмента и оценка особенностей гофрирования.

При разработке параметров опытной установки было принято решение изготовить установку, позволяющую моделировать процесс гофрирования полос с соотношением 1:5. Таким образом, на опытной установке гофрирования предполагалось получить щеки с внутренним диаметром 180 мм, наружным диаметром 360 мм, высотой гофры на шейке кабельного барабана 17 мм и высотой гофра по обечайке – 3,5 мм.

Поскольку при изготовлении промышленных щек предполагалось использовать полосы из мягкой стали 08КП толщиной 1,5 мм, то при моделировании процесса гофрирования толщина ленты должна быть равна 0,3 мм.

5.2. ОПЫТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОФРИРОВАНИЯ

С целью минимальных затрат на изготовление опытной установки гофрирования были использованы некоторые узлы от других лабораторных агрегатов.

В частности, для изготовления формующего валкового узла использован узел дисковых ножниц, имеющие конические валы для размещения ножей.

Опытная установка (чертеж ЮУрГУ-15.04.02.2017.221.01.00.00.00.00.ВО) предназначена для получения гофрированных полос для изготовления щек стальных кабельных барабанов и состоит из следующих основных узлов и устройств:

- задающее устройство 1;
- карданный вал 2;
- распределительная коробка 3;
- рама 4;
- гофрирующая клеть 5;

5.2.1. Задающее устройство

Задающее устройство 1 выполнено из плитовины, которая крепится на двутавры. На плитовину закреплены две направляющие (проводки), по которым лента будет задаваться в валки. В конце направляющих установлено прижимное устройство для предотвращения выхода ленты из проводок.

5.2.2. Карданный вал

Карданный вал предназначен для передачи крутящего момента от распределительной коробки к гофрирующей клетке. Состоит из вилок, крестовин и трубки, в которых закрепляются болтами концы вилок.

5.2.3. Распределительная коробка

Распределительная коробка предназначена для распределения крутящего момента от ручного привода. Состоит из корпуса, в котором выполнены расточки для подшипниковых опор, в которых установлены

валы. На валах на шпонку посажены зубчатые колеса, через которые и передается крутящий момент.

5.2.4. Рама

Рама состоит из сваренных между собой уголков. На верхней части на болтах закреплена плита, на которую закрепляется уже сама опытная установка.

5.2.5. Гофрирующая клеть

Гофрирующая клеть предназначена для прокатывания полосы и получения гофрированной полосы. Состоит из двух консольных валков, расположенных между собой под углом 36° , которые вращаются при помощи карданного вала.

Основным геометрическим параметром зубчатого валка можно считать угол конической поверхности α , проходящий через делительный диаметр валка d_d со стороны внутреннего диаметра щеки (или наружного диаметра шейки $d_{ш}$). Угол α можно определить из прямоугольного треугольника OAB (рисунок 22).

5.3. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Предварительно при компоновке узлов опытной установки рассчитали параметры формовочного инструмента по методике, изложенной в разделе 4.

Для определения угла конической поверхности α примем диаметр делительной окружности зубчатого валка со стороны шейки $d_d=55$ мм. Тогда угол α равен

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{d_d}{d_{ш}}. \quad (4.2)$$

Подставляя значения, получим: $\alpha = 2 \arcsin \frac{55}{180} = 2 \cdot 0,322 = 35,6^\circ$.

Длина валка равна

$$L_B = 0,5 \left(D_{ш} - \frac{d_d}{\tan \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (4.3)$$

$$L_B = 0,5 \left(360 - \frac{55}{0,321} \right) = 94,3 \text{ мм}$$

Делительный диаметр валка D_d со стороны наружного диаметра щеки равен:

$$D_d = 2D_{ш} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (4.4)$$

$$D_d = 2 \cdot 360 \cdot \tan 17,8 = 115,56 \text{ мм.}$$

Длина концентрической окружности c_d равна:

$$c_d = \pi d_d \quad (4.5)$$

Количество зубьев конического зубчатого валка равно:

$$z = \frac{c_d}{t_\Gamma} \text{ или } z = \frac{\pi d_d}{t_\Gamma}, \quad (4.6)$$

где t_Γ – шаг между гофрами по внутреннему диаметру щеки, при изготовлении опытной щеки равен

$$t_\Gamma = \frac{\pi \cdot 180}{25} = 22,6 \text{ мм.}$$

$$z = \frac{3,14 \cdot 55}{22,6} = 7,64 \approx 8.$$

Выбираем количество зубьев равным 8.

Угол β (рисунок 20) между соседними зубьями равен:

$$\beta = \frac{360^\circ}{z} \quad (4.7)$$

$$\beta = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ.$$

Шаг между зубьями на большем делительном диаметре зубчатого валка равен:

$$T = \frac{\pi D_d}{z} \quad (4.8)$$

$$T = \frac{3,14 \cdot 115,56}{8} = 45,35 \text{ мм.}$$

Ширина зуба на меньшем делительном диаметре валка d_d определяется шириной полки гофра b_Γ и толщиной полосы

$$b_3 = b_\Gamma - 2H_\Pi. \quad (4.9)$$

$$b_3 = 11,3 - 2 \cdot 0,3 = 10,7 \text{ мм.}$$

Высоту зуба и его ширину на большем диаметре (со стороны обечайки) валка необходимо определять из условия равенства длин полосы со стороны шейки l_Π и обечайки L_Π .

При гофрировании полосы ее длина на шаге гофры равна (рисунок 20)

$$l_\Pi = L_\Pi$$

$$l_\Pi = 2(h_3 + b_3 + H_\Pi) \quad (4.10)$$

При этом h_3 и b_3 задаются, исходя из конструктивных соображений щеки.

$$l_\Pi = 2(16,7 + 10,7 + 0,5) = 55,8 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр валков по шейке равен:

$$d_H = d_d + h_3, \quad (4.11)$$

$$d_H = 55 + 16,7 = 71,7 \text{ мм,}$$

а диаметр впадин валка

$$d_{B\Pi} = d_d - h_3 \quad (4.12)$$

$$d_{B\Pi} = 55 - 16,7 = 38,3 \text{ мм.}$$

Аналогично, длина полосы на шаге по обечайке равен

$$L_\Pi = 2(H_3 + B_3 + H_\Pi), \quad (4.13)$$

$$L_\Pi = 2(3,2 + 21,68 + 0,5) = 50,76 \text{ мм}$$

Полагая, что шаг гофров по обечайке равен:

$$T_3 = \frac{\pi D_d}{z}, \quad (4.14)$$

$$T_3 = \frac{3,14 \cdot 115,56}{8} = 45,36 \text{ мм}$$

получаем ширину зуба по обечайке

$$B_3 = \frac{T_3}{2} - 2H_{\Pi} \quad (4.15)$$

$$B_3 = 22,68 - 2 \cdot 0,5 = 21,68 \text{ мм}$$

имеем, учитывая выражение (4.10-4.13),

$$H_3 = 0,5l_{\Pi} - \frac{0,5\pi D_{\text{ш}}}{n} - H_{\Pi} = 0,5(l_{\Pi} - \frac{\pi D_{\text{ш}}}{n} - H_{\Pi}) \quad (4.16)$$

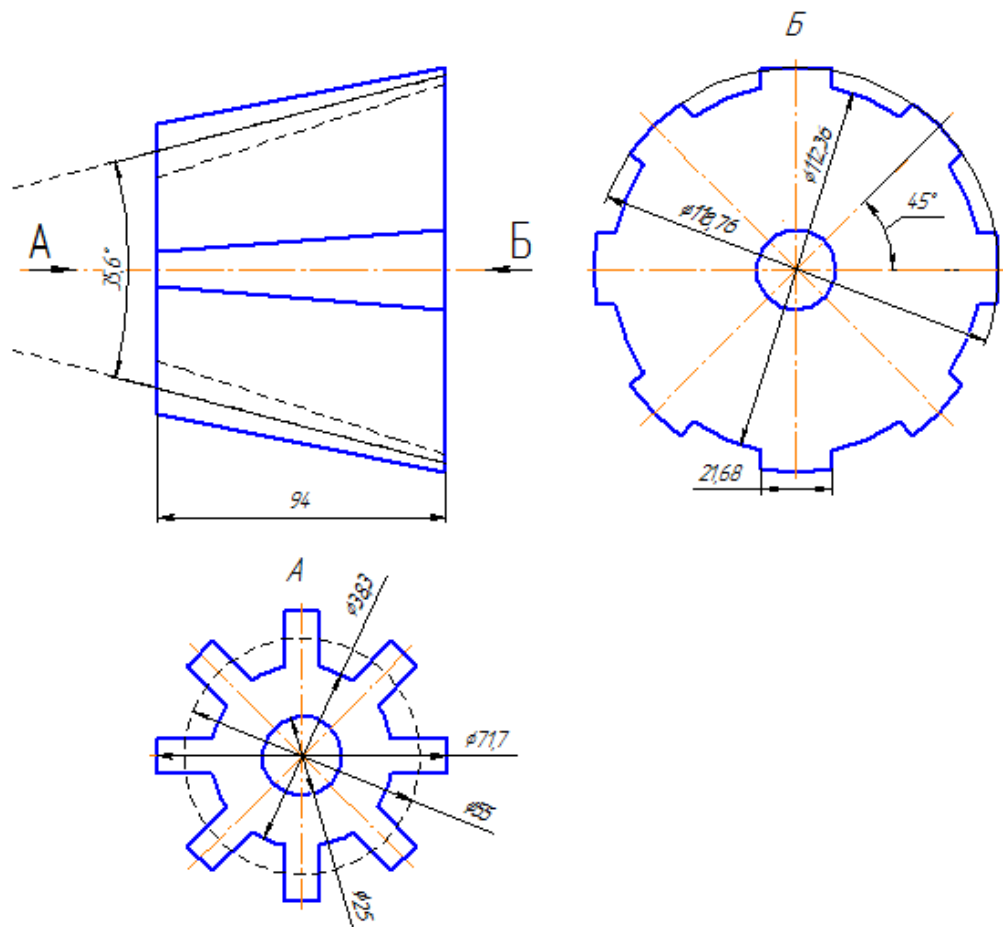


Рисунок 23 – Схема формовочного вала (материал – Сталь 45)

Тогда наружный диаметр вала по обечайке равен

$$D_{\text{н}} = D_{\text{д}} + H_3, \quad (4.17)$$

$$D_{\text{н}} = 115,56 + 3,2 = 118,76 \text{ мм}$$

а диаметр впадин

$$D_{\text{вп}} = D_{\text{д}} - H_3 \quad (4.18)$$

$$D_{\text{ВП}} = 115,56 - 3,2 = 112,36 \text{ мм}$$

На рисунке 23 приведена схема зубчатого вала. Зубчатые валки в количестве двух штук были изготовлены в технопарке «Машиностроение» ЮУрГУ на 5-ти координатном обрабатывающем центре с ЧПУ типа MNV – 4000 фирмы MoriSeiko (Япония).

5.4. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЯ ПОЛУЧАЕМОЙ ГОФРИРОВАННОЙ ПОЛОСЫ

Процесс гофрирования лент на опытной установке осуществляется следующим образом.

Предварительно подготавливалась отожженная лента из низкоуглеродистой стали 08КП следующими размерами: толщина 0,3-0,5 мм, ширина 55-90 мм и длина не менее 1420 мм. Длина ленты определялась, исходя из шага между гофрами (22,6 мм) и их количеством (25), т.е. $l_{\text{П}} = (22,6 + 2 \cdot 17)25 = 1420 \text{ мм}$.

Лента устанавливалась в проводках приемного стола и при вращении зубчатых валков осуществлялась гофрирование ленты. При этом, чтобы лента удерживалась в проводках приемного стола, она прижималась к столу прижимом.

Первоначально проводки приемного стола устанавливались перпендикулярно вертикальной плоскости валков. После деформирования ленты производился замер параметров гофрирования, а именно: высота гофров, шаг между гофрами и внутренний диаметр щеки.

После гофрирования ленты получены следующие данные: высота гофра колеблется от 16,8 мм до 17,5 мм, т.е. средняя высота гофра со стороны шейки 17,15 мм, со стороны обечайки 3-5 мм, шаг гофров колеблется от 23,5 мм до 25,5 мм. Внутренний диаметр щеки – 310 мм, число гофров – 26.

Анализ первых экспериментальных данных позволил определить причины, обусловившие отклонение полученных параметров от планируемых и дальнейшее направление исследований.

Прежде всего отметим, что высота гофра практически соответствует расчетным значениям. Отклонения по шагу гофры вызваны неправильной установкой угла конусности валков, а значительный диаметр полученных щек обусловлен исходным предположением, что ось ленты должна быть перпендикулярна вертикальной плоскости валков.

После проверки и установки угла конусности валков расчетным значениям, т.е. 36° , дальнейшие работы по гофрированию лент сводилось к поиску условий, при которых обеспечивался бы требуемый диаметр щек, прежде всего внутренний диаметр, т.к. наружный диаметр щеки зависит только от ширины ленты.

В результате варьирования углом входа полосы в зубчатые валки было принципиально установлено, что ось ленты должна быть перпендикулярна конусной концентрической поверхности, проходящей через делительный диаметр зубчатых валков (рисунок 24).

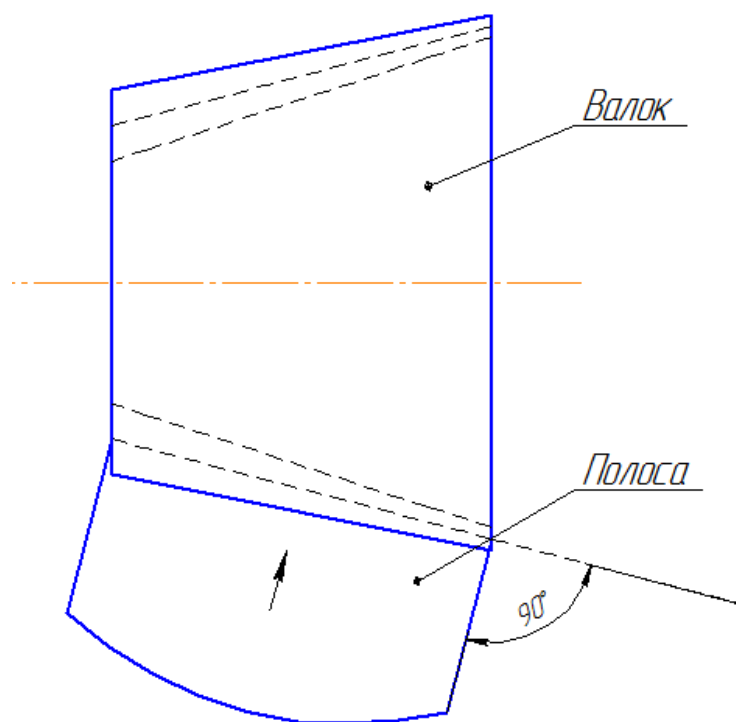


Рисунок 24 – Схема расположения полосы при входе в валки

В этом случае обеспечивается требуемый диаметр щеки со стороны шейки, т.е. 180 мм (рисунок 25).



Рисунок 25 – Кольцевая гофрированная полоса с внутренним диаметром 180 мм

Однако следует отметить, что при проведении гофрирования ленты получается 24 гофра. Это связано с тем, что шаг между гофрами больше расчетного примерно на 1 мм, что связано с несколько неправильным выбором делительного диаметра зубчатого вала со стороны шейки.

Таким образом, в результате экспериментального исследования по получению кольцевых гофрированных полос на разработанной опытной установке подтверждена правильность методики по определению параметров формовочного инструмента и получены данные по условиям расположения полосы относительно зубчатых валков.

Полученные результаты могут быть основой для разработки параметров опытно-промышленного стана и технологии гофрирования.

6. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО СТАНА

Опытно-промышленный стан предназначен для отработки новой технологии изготовления кольцевых гофрированных щек для кабельного барабана типа ВАЛ № 18(таблица 2).

При разработке конструктивных параметров стана исходили из результатов экспериментального исследования по выполнению гофрирования на опытной установке.

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

Целесообразно зубчатый валок изготавливать сборным, т.е. каждый зуб в данном случае изготавливается и устанавливается в валке индивидуально. Кроме того, валковый узел должен иметь возможность регулирования зазоров между валками.

В зубчатом зацеплении должны быть технологические зазоры для прохождения полосы между зубьями и исключения возникновения дополнительных радиальных и изгибающих усилий на зубья и валки.

6.1. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Предварительно при компоновке узлов опытной установки рассчитали параметры формовочного инструмента по методике, изложенной в разделе 4.3.

Для определения угла конической поверхности α примем диаметр делительной окружности зубчатого валка со стороны шейки $d_d = 275$ мм. Тогда угол α равен

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{d_d}{d_{ш}}. \quad (4.2)$$

Подставляя значения, получим: $\alpha = 2 \arcsin \frac{275}{900} = 2 \cdot 17,45 = 34,9^\circ$.

Длина валка равна

$$L_B = 0,5 \left(D_{ш} - \frac{d_d}{\tan \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (4.3)$$

$$L_B = 0,5 \left(1800 - \frac{275}{0,314} \right) = 462,5 \text{ мм}$$

Делительный диаметр валка D_d со стороны наружного диаметра щеки равен:

$$D_d = 2D_{ш} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (4.4)$$

$$D_d = 2 \cdot 1800 \cdot \tan 17,45 = 565,8 \text{ мм.}$$

Длина концентрической окружности c_d равна:

$$c_d = \pi d_d \quad (4.5)$$

Количество зубьев конического зубчатого валка равно:

$$Z = \frac{c_d}{t_\Gamma} \text{ или } Z = \frac{\pi d_d}{t_\Gamma}, \quad (4.6)$$

где t_Γ – шаг между гофрами по внутреннему диаметру щеки.

$$t_\Gamma = \frac{\pi \cdot 900}{25} = 113,04 \text{ мм.}$$

$$Z = \frac{3,14 \cdot 275}{113,04} = 7,63 \approx 8.$$

Примем количество зубьев зубчатого валка равным 8.

Угол β между соседними зубьями равен:

$$\beta = \frac{360^\circ}{Z} \quad (4.7)$$

$$\beta = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ.$$

Шаг между зубьями на большем делительном диаметре зубчатого валка равен:

$$T = \frac{\pi D_d}{Z} \quad (4.8)$$

$$T = \frac{3,14 \cdot 565,8}{8} = 222,07 \text{ мм.}$$

Ширина зуба на меньшем делительном диаметре валка d_d определяется шириной полки гофра b_Γ и толщиной полосы

$$b_3 = b_\Gamma - 2H_\Pi. \quad (4.9)$$

$$b_3 = 56,5 - 2 \cdot 1,5 = 53,5 \text{ мм.}$$

Высоту зуба и его ширину на большем диаметре (со стороны обечайки) валка необходимо определять из условия равенства длин полосы со стороны шейки l_Π и обечайки L_Π .

При гофрировании полосы ее длина на шаге гофры равна $l_\Pi = L_\Pi$

$$l_\Pi = 2(h_3 + b_3 + H_\Pi) \quad (4.10)$$

При этом h_3 и b_3 задаются, исходя из конструктивных соображений щеки.

$$l_\Pi = 2(83,5 + 53,5 + 1,5) = 277 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр валков по шейке равен:

$$d_n = d_d + h_3, \quad (4.11)$$

$$d_n = 275 + 83,5 = 358,5 \text{ мм,}$$

а диаметр впадин валка

$$d_{вп} = d_d - h_3 \quad (4.12)$$

$$d_{вп} = 275 - 83,5 = 191,5 \text{ мм.}$$

Аналогично, длина полосы на шаге по обечайке равен

$$L_\Pi = 2(H_3 + B_3 + H_\Pi), \quad (4.13)$$

$$L_\Pi = 2(16 + 104,74 + 1,5) = 50,76 \text{ мм}$$

Полагая, что шаг гофров по обечайке равен:

$$T_3 = \frac{\pi D_d}{Z}, \quad (4.14)$$

$$T_3 = \frac{3,14 \cdot 549}{8} = 215,48 \text{ мм}$$

получаем ширину зуба по обечайке

$$B_3 = \frac{T_3}{2} - 2H_{\Pi} \quad (4.15)$$

$$B_3 = 107,74 - 2 \cdot 1,5 = 104,74 \text{ мм}$$

имеем, учитывая выражение (4.10-4.13),

$$H_3 = 0,5l_{\Pi} - \frac{0,5\pi D_{\text{ш}}}{n} - H_{\Pi} = 0,5(l_{\Pi} - \frac{\pi D_{\text{ш}}}{n} - H_{\Pi}) \quad (4.16)$$

Тогда наружный диаметр валка по обечайке равен

$$D_{\text{н}} = D_{\text{д}} + H_3, \quad (4.17)$$

$$D_{\text{н}} = 565,8 + 16 = 581,8 \text{ мм,}$$

а диаметр впадин

$$D_{\text{вп}} = D_{\text{д}} - H_3 \quad (4.18)$$

$$D_{\text{вп}} = 565,8 - 16 = 549 \text{ мм.}$$

Параметры валка несколько увеличены, с возможностью получения щек соседних номеров кабельных барабанов №17 и №19 (таблица 2).

6.2. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОФРИРОВАНИЯ

Процесс гофрирования полосы с использованием конических зубчатых валков может быть осуществлен в двух вариантах: с двумя приводными или с одним приводным валком.

При гофрировании полосы с одним приводным валком нет необходимости в синхронизации вращения валков и установке их смещения в окружном направлении относительно друг друга, что весьма затруднительно при большом числе зубьев. Поскольку неприводной валок вращается в процессе гофрирования за счет сил трения между полосой и зубьями валка, возможно изменение условий трения в процессе гофрирования и изменение геометрических размеров гофров. Это обстоятельство может привести к искажению профиля гофров и затруднению получения кольцевых гофрированных полос требуемого диаметра.

Поэтому целесообразно применение двух приводных зубчатых валков, в которых обеспечивается синхронизация их вращения. При вращении валков должны отсутствовать удары зубьев для повышения их работоспособности.

Для определения энергосиловых параметров процесса гофрирования полос можно предположить, что в процессе вращения валков выступ (гофр) формируется за счет вращения одного валка, а впадина – за счет другого валка. Для обеспечения этого процесса к валкам прикладывается крутящий момент $M_{кр}$. Формирование гофра (или впадины) можно представить как изгиб защемленной пластины.

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

$$A_{деф} = A_{внеш} \quad (6.2.1)$$

$A_{внеш} = M_{кр}$ - для одного выступа или впадины.

Работа по формированию выступа или впадины может быть определена по выражению [28]:

$$A_{деф} = 2(k_1 + \frac{k_0}{4r}) \frac{H_{r_{ср}}}{rH_{\Pi}} W \delta_T, \quad (6.2.2)$$

где $k_1 = 1,5$ - коэффициент профиля ;

k_0 – относительный модуль упрочнения;

$H_{r_{ср}}$ - средняя высота гофра, $H_{r_{ср}} = \frac{h_r + H_r}{2}$;

$r = \frac{R}{H_{\Pi}}$, здесь R – радиус скруглений в углах зуба;

W – момент сопротивления полосы, $W = \frac{B_{\Pi} \cdot H_{\Pi}^2}{6}$.

Относительный модуль упрочнения равен

$$k_0 = \frac{\sigma_{ш} - \sigma_T}{a \delta_B \cdot \sigma_T}, \quad (6.2.3)$$

где $a = 0,5$,

$\sigma_{ш}$ - истинное напряжение в момент появления шейки при растяжении

$$\sigma_{ш} = \sigma_B(1 + \delta_B), \quad (6.2.4)$$

здесь σ_B - предел прочности материала полосы;

δ_B - относительное удлинение материала полосы.

Подставляя выражение (6.2.2-6.2.4) в выражение (6.2.1), после нескольких преобразований имеем:

$$M_{кр} = \left[1,5 + 0,5H_{\Pi} \frac{\sigma_B(1+\delta_B)-\sigma_T}{\delta_B \cdot \sigma_T \cdot R} \right] \frac{Hr_{ср}}{R} \cdot \frac{B_{\Pi}H_{\Pi}^2}{3} \sigma_T, \quad (6.2.5)$$

где $H_{\Pi} = 1,5$ мм;

$$\sigma_B = 29,5 \text{ кг/мм}^2;$$

$$\sigma_T = 17,5 \text{ кг/мм}^2;$$

$$R = 2 \text{ мм};$$

$$Hr_{ср} = 60 \text{ мм};$$

$$B_{\Pi} = 450 \text{ мм};$$

$$\delta_B = 0,35.$$

Подставляя значение в выражение 6.2.5, имеем

$$M_{кр} = \left[1,5 + 0,5 \cdot 1,5 \frac{29,5(1+0,35)-17,5}{0,35 \cdot 17,5 \cdot 2} \right] \frac{60}{2} \cdot \frac{450 \cdot 1,5^2}{3} \cdot 17,5 = 444704,5 \text{ кг мм} =$$

$$444,7 \text{ кг м.}$$

Мощность считаем по выражению

$$N_B = \frac{M_{кр} \cdot n}{975 \cdot \eta}, \quad (6.2.6)$$

$$\text{где } n = \frac{\vartheta_{ср} \cdot 60000}{\pi \cdot D_{вср}} = \frac{0,1 \cdot 60000}{3,14 \cdot 436} = 4,38 \text{ об/мин.}$$

Подставляя частоту вращения в выражение 6.2.6 имеем

$$N_B = \frac{444,7 \cdot 4,38}{975} = 1,99 \text{ кВт} \approx 2 \text{ кВт.}$$

Получили мощность на одном валу, посчитаем общую мощность:

$$N_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 2}{\eta_{\Sigma}} = 4,25 \text{ кВт.}$$

6.2.1. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

По результатам расчета выбираем двигатель МЦ2СФ-125М

(рисунок 26).

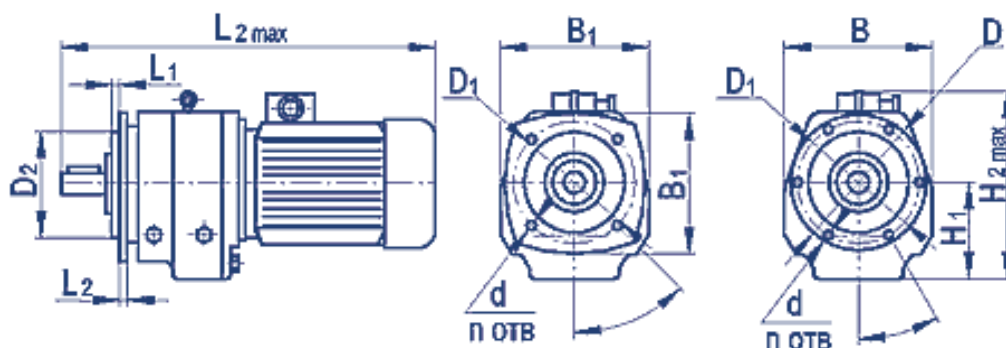


Рисунок 26 – Мотор-редуктор МЦ2СФ-125М

Типоразмер мотор-редуктора	Передаточное число, u	Частота вращения выходного вала, n_2 , об/мин	Номинальный крутящий момент на выходном валу, T_2 , Нм
МЦ2СФ-40М	8; 10; 12,5; 16; 20; 25	28...200	39...63
МЦ2СФ-50М			70...95
МЦ2СФ-63М			135...205
МЦ2СФ-80М			250...408
МЦ2СФ-100М			500...700
МЦ2СФ-125М			940...1410
МЦ2СФ-160М			1700...2500
МЦ2СФ-200М			3145...4100
МЦ2СФ-250М			5200...7820

Таблица 4 - Габаритные и присоединительные размеры мотор-редукторов

Типоразмер мотор-редуктора	Размеры, мм																Масса, кг
	a_w	B	B ₁	D	D ₁	D ₂	L	L _{2, max}	L ₁	L ₂	H	H _{2, max}	H ₁	d	n	a	
МЦ2СФ-40М	40	200	-	200	165	130	300	480	4	12	207	240	107	12	4	0°	58
МЦ2СФ-50М	50	200	-	200	165	130	330	470	4	12	200	260	100	12	4	45°	38
МЦ2СФ-63М	63	200	200	-	185	130	375	580	5	14	245	305	135	11	4	45°	69
МЦ2СФ-80М	80	250	250	-	240	180	450	600	5	16	303	330	167	14	4	45°	90
МЦ2СФ-100М	100	270	270	-	275	230	550	850	5	18	342	430	212	14	4	45°	112
МЦ2СФ-125М	125	350	350	-	340	290	590	970	5	22	449	535	260	19	4	45°	238
МЦ2СФ-160М	160	430	-	450	400	350	665	1055	5	22	430	620	324	24	6	15°	390
МЦ2СФ-200М	200	580	-	550	500	450	885	1265	5	22	580	735	394	24	6	15°	500
МЦ2СФ-250М	250	680	-	660	600	1040	1040	1770	5	24	680	1035	490	24	6	15°	1050

Таблица 5 – Технические характеристики мотор-редукторов

Тип	i	n ₂ мин ⁻¹	a _w , мм											
			МЦ2СФ-125М			МЦ2СФ-160М			МЦ2СФ-200М			МЦ2СФ-250М		
			P ₁	T ₂	F ₂	P ₁	T ₂	F ₂	P ₁	T ₂	F ₂	P ₁	T ₂	F ₂
МЦ	8; 10; 12,5; 16; 20; 25	200	22	1000	7900	37	1700	10450	75	3500	14800	132	6050	19450
		180	18,5	940	7700		1890	10900		3145	14000		100	5200
		160		1070	8200		1925	11000	55	3200	14100	5890		19200
		140	1165	8600	2090		11400	3560		14900	6700	20500		
		125	15	1105	8300	30	1990	11150	45	3380	14500	90	6455	20100
		112		1210	8700		2170	11650		3715	15200		7045	21000
		100		1410	9400		2500	12500		4100	16000		7520	21700
		90	11	1140	8500	22	2050	11300	37	3690	15200	75	6640	20400
		80		1225	8700		2200	11700		4050	15900		7290	21300
		71		1410	9400		18,5	2400		12250	4065		15900	7820
		63	7,5	1060	8200	15	2080	11400	30	3745	15300	45	6740	20500
		56		1200	8700		2160	11600		3890	15600		7000	20900
		50	5,5	1000	7900	11	1880	10850	18,5	3385	14550	37	6090	19500
		45		1120	8400		2015	11200		3625	15050		6525	20200
		40		1250	8800		2250	11850	4050	15910	30	7090	21000	
		35,5		1340	9200		2200	11700	3980	15800		7800	22100	
		31,5	4,0	1160	8500	7,5	2085	11400	15	3755	15300	22	6560	20200
		28		1245	8800		2240	11800		4040	15900		7270	21300

Условные обозначения параметров:

a_w, мм - межосевое расстояние

i - передаточное отношение редуктора

n₂ - частота вращения выходного вала редуктора (мотор-редуктора), мин⁻¹

P₁ - допускаемая мощность на входном валу редуктора (или номинальная мощность электродвигателя у мотор-редуктора), (кВт)

T₂ - допускаемый крутящий момент на выходном валу редуктора (мотор-редуктора), (Н·м)

F₂ - допускаемая радиальная консольная нагрузка на выходном валу редуктора (мотор-редуктора), (Н)

6.2.2. ВЫБОР РЕДУКТОРА

По выходному валу электродвигателя выбираем редуктор РМ-350 (рисунок 27).

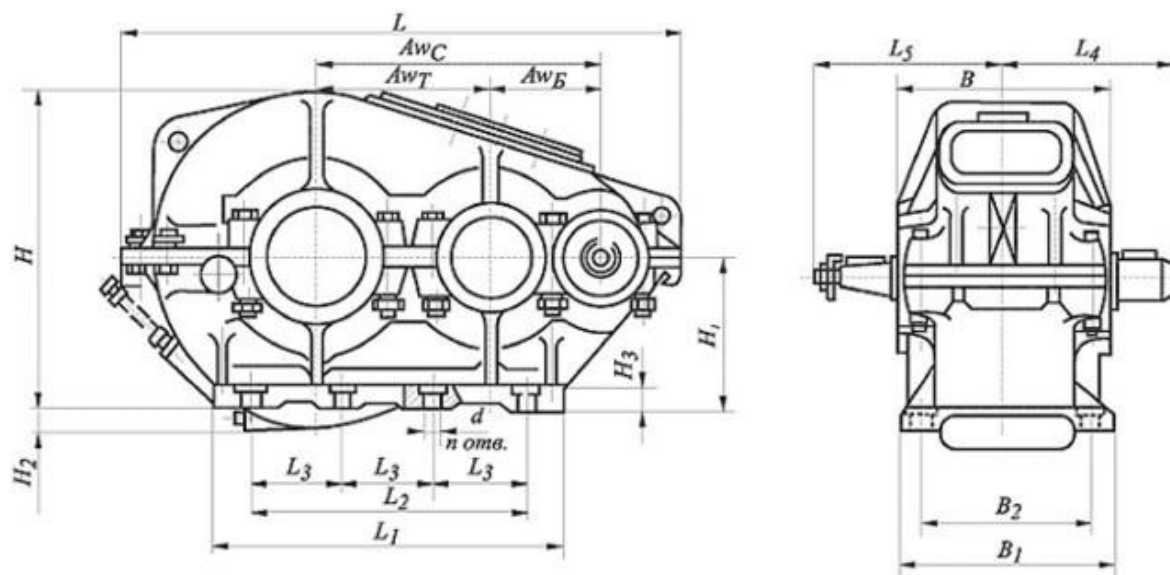


Рисунок 27 – Редуктор РМ-350

Таблица 6 - Габаритные и присоединительные размеры

Типоразмер редуктора	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	B	B ₁	B ₂	H	H ₁	H ₂	H ₃	d	n
РМ-350	710	415	310	-	268.5	260	270	290	250	400	200	-	23	17	4

Таблица 7 - Основные технические характеристики

Типоразмер редуктора	Передаточное число, u	Передаточное число (старое обозначение), соответственно	Фактическое передаточное число, u_1	КПД, %	Масса редуктора, кг	Aw_C	Aw_T	Aw_B	Объем заливаемого масла, л
РМ-350	8, 10, 12.5, 16, 20, 22.4, 31.5, 40, 50	IX, VIII, VII, VI, V, IV, III, II, I	8.23, 10.35, 12.64, 15.75, 20.49, 23.34, 31.50, 40.17, 48.57	98	145	350	200	150	3.3

Типоразмер редуктора	Частота вращения входного вала, об/мин	Допускаемый крутящий момент на выходном валу при работе редуктора в повторно-кратковременных режимах, Н*м для передаточных чисел									Допускаемая радиальная консольная нагрузка, приложенная в середине посадочной части, Н		
		8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	22.4	31.5	40.0	50.0	Входной (быстроходный) вал	Выходной (тихоходный) вал	Выходной (тихоходный) вал в виде зубчатой полумуфты
РМ-350	600	6000	6800	6900	7200	7400	7600	7700	7900	8000	3800	24000	18400
	750	6400	6600	6800	7000	7300	7400	7600	7900	8000	3500	22500	16900
	1000	6100	6400	6600	6800	7200	7300	7500	7800	7900	3100	20000	16000
	1250	5800	6100	6400	6600	7000	7100	7400	7700	7800	2900	18500	14000
	1500	5400	6000	6100	6400	6800	6900	7100	7400	7700	2900	17500	13700

6.3. КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО СТАНА

Компоновка оборудования опытно-промышленного стана приведена на чертеже (ЮУрГУ-15.04.02.2017.221.02.00.00.00.00.).

Основными узлами стана являются: валковый узел, привод валков, приемные столы.

Валковый узел состоит из двух конических зубчатых валков. Угол между осями валков равен $\alpha = 34,9^\circ$. Валки имеют двухопорную систему; вал зубчатого устанавливается в двухрядных сферических подшипниках № 3516. Каждый валок выполнен сборным. Зуб и впадина между валками устанавливаются индивидуально при помощи болтового соединения.

Вращение валков осуществляется карданными валами. Для обеспечения одинаковой скорости вращения валков используется шестеренная клеть. Синхронизация вращения валков обеспечивается набором шестерен открытой зубчатой передачи. Передаточное число зубчатой передачи равно единице.

Входной вал шестеренной клетки через муфту соединен с выходным валом редуктора РМ-350, имеющим передаточное число $i=30,1$.

Входной вал редуктора через муфту соединен с мотор-редуктором.

Стан имеет приемные столы. На входе полосы в валки приемный стол установлен под 90° к конической поверхности зубчатых валков и имеет длину 7800 мм. Приемный стол имеет роликовые проводки с возможностью центровки полосы на приемном столе.

На выходе из валков приемный стол должен быть выполнен спиральным для подъема переднего конца выходящей гофрированной полосы выше верхнего зубчатого валка, чтобы передний конец полосы вновь не попал в зубчатые валки.

Техническая характеристика стана следующая:

1. Максимальный диаметр зубчатого вала - 682 мм;
2. Длина бочки вала - 570 мм;
3. Скорость вращения валков - 4 об/мин;
4. Крутящий момент на одном валке - 444,7 кг м;
5. Общее передаточное число привода валков - 360;
6. Установленная мощность мотор-редуктора - 7,5 кВт;
7. Скорость двигателя мотор-редуктора - 1420 об/мин.

6.4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПОЛОС

Процесс изготовления щек на стане предполагает выполнение следующих операций.

Поставляемая в рулонах низкоуглеродистая мягкая стальная полоса шириной 450 мм режется на длину не менее

$$L = (2h_{\Gamma} + t_{\Gamma}) \cdot n = (2 \cdot 85 + 113) \cdot 25 = 7075 \text{ мм.}$$

В принципе длина полосы может быть увеличена до 7150 мм, т.к. после гофрирования полосы должна проводиться рихтовка щеки и выравнивание стыков перед сваркой концов.

Подготовленная для гофрирования полоса укладывается на приемный проводковый стол и подается вручную к зубчатым валкам. Зубчатые валки должны быть установлены в таком положении, чтобы полоса проходила между зубьями и упиралась в тело вала.

После этого включается привод стана и зубчатыми валками осуществляется поперечное гофрирование полосы.

При выходе из валков полоса перемещается по спиралеобразному проводковому столу.

После выхода заднего конца полосы из валков стан останавливают и гофрированная кольцевая полоса снимается со стана.

В процессе гофрирования полосы с целью снижения трения полосы о зубья валков на полосу подается индустриальное масло.

6.5 РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ УЗЛОВ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО СТАНА

6.5.1. РАСЧЕТ ВАЛА НА ПРОЧНОСТЬ

Данный расчет производим в целях предупреждения пластических деформаций в период действия перегрузок. Схема к расчету вала представлена на рисунке 28.

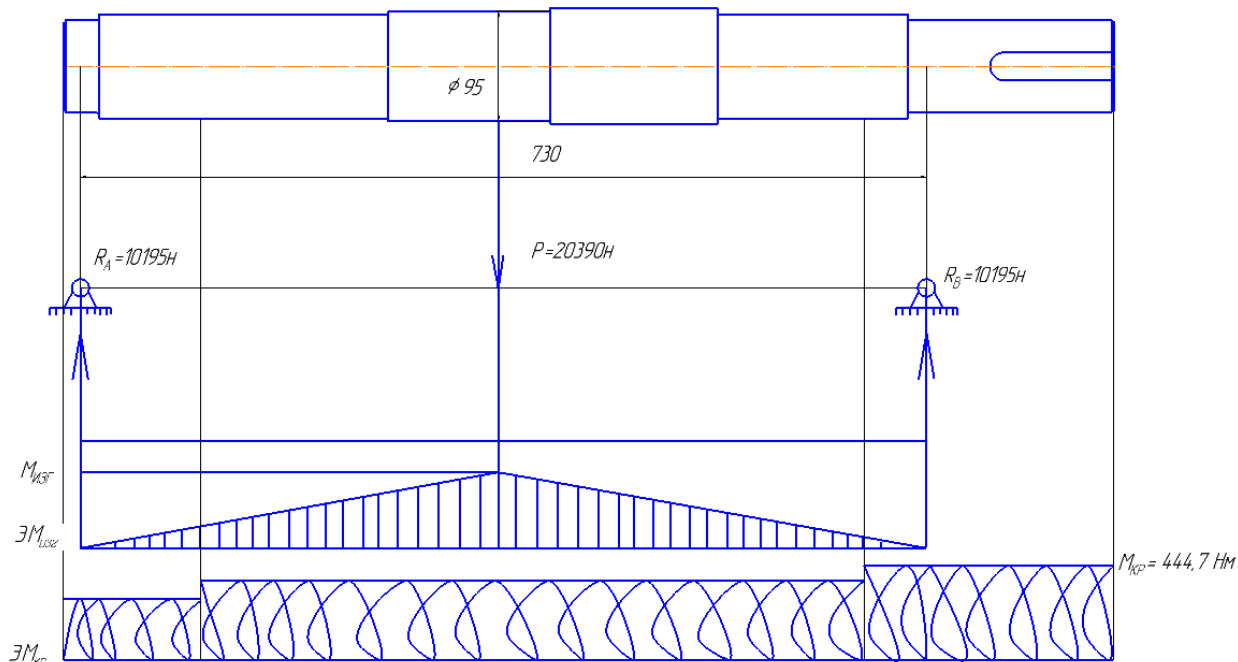


Рисунок 28 – Схема к расчету вала на прочность

Реакции в опорах определяются по формуле:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = \frac{20390 \text{ Н}}{2} = 10195 \text{ Н.}$$

Максимальный изгибающий момент:

$$M_{изг} = R_A \cdot \frac{320 \text{ мм}}{2} = 10195 \text{ Н} \cdot 730 \text{ мм} = 7442,3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Напряжение изгиба в опасном сечении:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{W} = \frac{M_{\text{и}}}{0,1d^3} = \frac{7442,3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}}{0,1 \cdot (95 \text{ мм})^3} = 86 \text{ МПа.}$$

Необходимо выполнение следующего условия:

$$\frac{\sigma_{\text{в}}}{[n]} > \sigma_{\text{и}};$$

$[\sigma]_{\text{в}}$ –предел кратковременной прочности, для стали 40 $\sigma_{\text{в}} = 570 \text{ МПа}$;

$[n]$ –запас прочности, для ролика $[n] = 5$.

$$[\sigma] = 114 > 86 \text{ МПа}$$

Геометрические параметры вала, при данных условиях нагружения, удовлетворяют условиям прочности.

6.5.2. ВЫБОР ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

В данной конструкции опытно-промышленного стана установлены роликоподшипники радиальные сферические двухрядные тип 3516 [29].

Номинальная долговечность в часах:

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p, \quad (6.5.2.1)$$

где C — динамическая грузоподъемность, $C = 10200 \text{ кг} = 99960 \text{ Н}$ [29];

p — показатель степени: для роликоподшипников $p = 10/3$;

n — частота вращения вала, $n = 4,38 \text{ мин}^{-1}$.

P — эквивалентная нагрузка для двухрядных роликоподшипников радиальных сферических:

$$P = F_r V K_{\text{б}} K_{\text{т}}. \quad (6.5.2.2.)$$

где F_r — нагрузка на подшипник, $F_r = R_A = 10195 \text{ Н}$;

$K_{\text{б}}$ — коэффициент безопасности, $K_{\text{б}} = 1,2$ [46];

$K_{\text{т}}$ — температурный коэффициент, $K_{\text{т}} = 1,05$ [46];

V — коэффициент вращения; при вращении наружного кольца $V = 1$.

$$P = 10195 \text{ Н} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 12845 \text{ Н};$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 4,38 \text{ мин}^{-1}} \left(\frac{99960 \text{ Н}}{12845 \text{ Н}} \right)^{\frac{10}{3}} = 55 \text{ 000 ч.}$$

6.5.3. РАСЧЕТ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА НА ПРОЧНОСТЬ

Исходные данные:

$$a_w = 280 \text{ мм}; M_{кр} = 444,7 \text{ Н} \cdot \text{м}; d_d = 290 \text{ мм}; b = 120 \text{ мм}, u = 1.$$

Формула для расчета напряжения[30]:

$$\sigma_H = z_H \cdot z_M \cdot z_l \sqrt{\frac{\omega_{H_1}(u+1)}{d_d \cdot u}} \leq \sigma_{доп}, \quad (6.5.3.1)$$

где u – передаточное отношение;

z_H – коэффициент, учитывающий форму сопряжения поверхности зуба, для прямозубых $z_H = 1,77$;

z_M – коэффициент, учитывающий свойства материала колеса, для стальных $z_M = 190 \text{ МПа}$;

z_l – коэффициент, учитывающий суммарную длину контактных линий, для прямозубых $z_l = 1$;

ω_{H_1} – удельная окружная сила.

Удельная окружная сила рассчитывается по формуле:

$$\omega_{H_1} = \frac{F_t \cdot K_{H\beta} \cdot K_{MV}}{b}, \quad (6.5.3.2)$$

где $F_t = \frac{2M_{кр}}{d_d}$;

$K_{H\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки по длине контактных линий зуба, $K_{H\beta} = 1,08$;

K_{MV} – коэффициент динамической нагрузки, $K_{MV} = 1,02$.

$$F_t = \frac{2 \cdot 444,7 \text{ Н} \cdot \text{м}}{0,29 \text{ м}} = 3066,8 \text{ Н} = 3,066 \text{ кН.}$$

Подставляя значения в выражение 5.5.3.2. имеем

$$\omega_{H_1} = \frac{3,066 \text{ кН} \cdot 1,08 \cdot 1,02}{0,12 \text{ м}} = 28,14 \text{ кН} = 0,028 \text{ МН}.$$

Подставляя удельную окружную силу в выражение 5.5.3.1 получаем напряжение

$$\sigma_H = 1,77 \cdot 190 \text{ МПа} \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{0,028 \text{ МН}(1+1)}{0,29}} = 104,5 \text{ МПа}.$$

Подсчитаем допустимую нагрузку по формуле

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot K_{H_2}}{[S]_H}, \quad (6.5.3.3)$$

где σ_{Hlimb} – предел контактной выносливости при базовом числе циклов при марке Сталь 45 - $\sigma_{Hlimb} = 470 \text{ МПа}$;

$[S]_H$ – коэффициент безопасности, $[S]_H = 1,3$;

K_{H_2} – коэффициент, учитывающий число циклов, $K_{H_2} = 1$.

Подставляем значения в формулу 5.5.3.3. и имеем

$$[\sigma_H] = \frac{470 \text{ МПа} \cdot 1}{1,3} = 361,5 \text{ МПа}.$$

Требуемое условие $\sigma_H \leq [\sigma_H]$ выполнено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследование и усовершенствование технологии формовки ленты описанного выше типа в зубчатых валках имеет как научное, так и прикладное значение. Применение исследуемого способа гофрирования позволяет повысить производительность и экономичность изготовления ленты по сравнению с методом последовательной штамповки, дает возможность усовершенствовать технологический процесс гофрирования ленты заданного профиля и использовать его в схемах промышленных установок соответствующего назначения.

В выпускной квалификационной работе была разработана опытная установка для получения кольцевых гофрированных полос. Разработана методика расчета геометрических параметров. Исходя из расчетов опытной установки, были разработаны конструктивные параметры опытно-промышленного стана, даны расчеты геометрических параметров формовочного инструмента, расчеты энергосиловых параметров процесса гофрирования, дано описание компоновки оборудования опытно-промышленного стана, и выполнены расчеты на прочность.

Задачи выпускной квалификационной работы решены. Поставленные цели достигнуты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тришевский И.С и др. Производство деталей из гнутых профилей /И.С. Тришевский, В.С. Марьин, В.А. Хмель. - Киев, Техника, 1985. - 127 с , ил.
2. ГОСТ 14350-80 Профили проката гнутые. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 14350-69; Срок введ. установлен с 01.07.1981 г. - Изд. офиц. М., 1980- 14 с. - группа ВОО.
3. ГОСТ 10551-75 Профили стальные гнутые гофрированные. Сортамент. Взамен ГОСТ 10551-63. Срок действия с 1.1.78 г. до 1.1.83, продлен до 01.01.93 г. - Изд. офиц. - М., 1991 - 22 с. - группа В23.
4. ГОСТ 9234-74 Профили стальные гнутые листовые с трапециевидным гофром. Сортамент. Взамен ГОСТ 9234-59. Срок действия с 1.1.75 г. до 1.1.80, - Изд. офиц. - М., 1986. - группа В22.
5. ГОСТ 3685-71 Сталь листовая волнистая. Изд. офиц. Группа В23. Взамен 3685-47. Срок введ. 1/1 1972. Переизд. Март 1972. М., 1972. С 1-3.
6. Тришевский О.И. и др. Способы производства и области применения нового вида металлопроката - профилей высокой жесткости: Обзор /

- [Тришевский О.И., Крюк А.Г., Сахаров В.С.]. - Киев, УкрНИИНТИ, 1982.-33 с , ил.
7. Разработка и исследование технологии валковой формовки панелей теплообменников с поперечными гофрами / Тригуб В.К., Ахлестин В.Л., Тришевский О.И., Анохин В.Н., Сеницына Л.К. - Кузнечно-штамповочное производство, 1980, № 2, с. 21-23.
 8. Тришевский О.И. Теория и технология производства сортового проката и гнутых профилей: Отрасл. сб. науч. тр. - Харьков, 1991. III
 9. Пат. 3447352 (США). МКИ В21d 13/04. Заявл. 23.12.66. Оpubл. 03.06.69.
 10. Губин В.И. Производство автомобильных радиаторов. - Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1979. - 126 с , ил.
 11. ГОСТ 10560-80 Прессы листогибочные гидравлические. Параметры и размеры. Нормы точности. - Изд. офиц. - М., 1988 - 12 с. - группа Г83.
 12. Мошнин Е.Н. Гибка, обтяжка и правка на прессах. Технология и оборудование. М., Машгиз, 1959. 360 с. с ил.
 13. Губин В.И. Производство автомобильных радиаторов. - Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1979. - 126 с , ил.
 14. Тришевский И.С и др. Производство деталей из гнутых профилей /И.С. Тришевский, В.С. Марьин, В.А. Хмель. - Киев, Техника, 1985. - 127 с , ил.
 15. А.с. 133452 (СССР). Устройство для гофрирования ленты / Шурыгин П.А.- Заявл. 04.06.59. Оpubл. 25.06.60. Б. И. № 22,1960, МКИ В21d 13/04.
 16. А.с. 133452 (СССР). Устройство для гофрирования ленты / Шурыгин П.А.- Заявл. 04.06.59. Оpubл. 25.06.60. Б. И. № 22,1960, МКИ В21d 13/04.
 17. А.с. 204288 (СССР). Устройство для изготовления гофрированных пластин из ленты / Губин В.И., Серов СИ., Бубель С.Х., Воронин В.М.,

- Аладьин П.И., Кудакин А.Я., Дашков П.И. - Заявл. 29.07.67. Оpubл. 20.10.67. Б.И. № 22,1967, МКИ В21d 13/04.
18. А.с. 206518 (СССР). Устройство для гофрирования ленты / Кирпичников Ф.П., Маркин Ю.П., Винокурова Т.В. - Заявл. 17.03.65. Оpubл. 08.12.1967. Б.И. № 1, 1967, МКИВ2Ы 13/04.
19. Пат. 3712101 (США). МКИ В21d 13/04, НКИ 72-196. Заявл. 10.08.71. Оpubл. 23.01.73.
20. Пат. 4130673 (ФРГ). МКИ В21d 43/08, В21d 13/04, В21d 28/26. Заявл. 14.09.91. Оpubл. 18.03.93.
21. Пат. 2080948 (Россия). Устройство для изготовления гофрированной ленты / Титов А.М., Титов Д.А. - Заявл. 20.07.95. Оpubл. 10.06.97. Бюл. № 16, 1997, МКИ В21d 13/04.
22. Пат. 2107652 (Россия). Устройство для изготовления косоплиссированной ленты и способ изготовления косоплиссированной ленты / Зюесс Ф., Бэр М., Штекли К., Штекли Р. - Заявл. 24.04.96. Оpubл. 27.03.98, МКИ В21d 13/04.
23. А.С. 1174124 (СССР). Устройство для изготовления ленты с гофрами, имеющими поперечные надрезы и перемычки между ними / Будим В.А. – Заявл. 09.11.83. Оpubл. 23.08.85. Бюл. № 31, 1985, МКМВ21d 13/04.
24. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия.
25. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия.
26. ГОСТ 17066-94. Прокат тонколистовой из стали повышенной прочности. Технические условия
27. ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент.

28. Мошнин Е.Н. Гибка, обтяжка и правка на прессах. Технология и оборудование. М., Машгиз, 1959. 360 с. с ил.
29. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения. Справочник. Изд. 6-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1975, 572 с.
30. Решетов Д.Н. Детали машин. Учебник для вузов. Изд. 3-е, испр. и перераб. М., «Машиностроение», 1974.